الطبعة الثانية

بول ديفيز

الجائزة الكونية الكبرى

لغز ملاءمة الكون للحياة

عن هذا الكتاب

«سوف يسبب هذا الكتاب أكبر ضجة منذ أن كتب روجر بنروز كتاب «عقل الإمبراطور الجديد». إن ديفيز شجاع، ومسلّ، ومقنع.»

مجلة نيتشر

«كتاب سيفتنك بالتأكيد، مهما كان الكون الذي تسكنه! إن مفهوم الكون المتعدد يُعرَض على لسان راوي قصص وعالم محنك بطريقة جذابة وسلسة. وكالروايات البوليسية، يحبس هذا الكتاب الأنفاس. دع بول ديفيز يكون مرشدك إلى الكون المتعدد.»

ميشيو كاكو، مؤلف كتاب «الفضاء متعدد الأبعاد» وكتاب «العوالم المتوازية»

«هل هو الحظ، أم العوامل الإحصائية، أم قوة خفية، أم الإله جعل كوننا مناسبًا للحياة بهذا الشكل المثالي؟ يُطلع هذا الكتاب القراء على أحدث مستجدات علم الكونيات. إن هذا الكتاب، الصريح صراحة قاسية، والمسلي تسلية عفوية، والمتشكك بطريقة ساخرة، لهو رحلة تخلب الألباب تأخذك بين الرؤى المتصارعة، الجامحة في أحيان كثيرة، بشأن الطبيعة الجوهرية لكوننا وغيره من الأكوان الممكنة.»

جويل آر بريماك ونانسي إلين أبرامز

مؤلفا كتاب «المشهد كما يبدو من مركز الكون»

«عرض رشيق لأحدث مستجدات العلم.»

مجلة كيركس ريفيوز

٣٥٤ صفحة


ISBN 978-977-5171-11-5

http://www.kalimat.org



الجائزة الكونية الكبرى

الجائزة الكونية الكبرى

لغز ملاءمة الكون للحياة

تأليف
بول ديفيز

ترجمة
محمد فتحي خضر

مراجعة
حسام بيومي محمود



الجائزة الكونية الكبرى

Cosmic Jackpot

بول ديفيز

Paul Davies

الطبعة الثانية ٢٠١٣م
رقم إيداع ٢٠١١/١٦٤١٢

كلمات للترجمة والنشر
إن كلمات للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه
ص.ب. ٥٠، مدينة نصر ١١٧٦٨، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٠٦٣٥٢ ٢٠٢ +　　فاكس: ٣٥٣٦٥٨٥٣ ٢٠٢ +
البريد الإلكتروني: kalimat@kalimat.org
الموقع الإلكتروني: http://www.kalimat.org

ديفيز، بول.
الجائزة الكونية الكبرى/بول ديفيز . - القاهرة: كلمات للترجمة والنشر، ٢٠١١.
٣٥٤ص، ١٦,٠×٢٣,٠سم
تدمك: ٥ ١١ ٥١٧١ ٩٧٧ ٩٧٨
١- الكون
أ- العنوان
٥٢٣,١

الغلاف: تصميم سيلفيا فوزي.

المحتويات

إهداء

إلى جون آرتشيبولد ويلر الذي لم يهب أبدًا معالجة الأسئلة الكبرى.

تمهيد وشكر وتقدير

بقلم بول سي دابليو ديفيز

وأنا أحضّر لدرجة الدكتوراه في جامعة لندن في الستينيات أعطاني المشرف على رسالتي تقريرًا فنيًّا مثيرًا للاهتمام كنوع من «الترويح عن نفسي» من مشروعي البحثي الأساسي. كانت تلك الورقة البحثية (التي لم تُنشر قط على النحو الذي قرأتها عليه) مبنية على محاضرة ألقاها عالم الكونيات الإنجليزي الشاب والفيزيائي النظري براندون كارتر في الولايات المتحدة. كان موضوع المحاضرة ثوريًّا وغير عادي. إن العمل المعتاد لعالم الفيزياء النظرية هو البحث في المشكلات غير المحلولة المتعلقة بإحدى الظواهر الطبيعية عن طريق تطبيق قوانين الفيزياء في صورة معادلات رياضية، ثم محاولة حل هذه المعادلات لرؤية مقدار نجاحها في وصف المشكلة الأساسية، إلا أن كارتر كان يواجه مشكلة مختلفة بصورة كلية؛ مشكلة تتعلق بـ «أشكال» القوانين نفسها. لقد سأل نفسه هذا السؤال: «لو افترضنا أن القوانين كانت مختلفة قليلًا عن الشكل الذي هي عليه بالفعل في هذا الجانب أو ذاك، ماذا ستكون عواقب ذلك؟» يُطلق الفلاسفة على هذا النوع من التفكير اسم التحليل المضاد للواقع، ومع أن الأدباء مغرمون منذ وقت طويل بمثل هذا النوع من التفكير (قرأت حديثًا رواية انتصر فيها النازيون على البريطانيين في الحرب العالمية الثانية وصارت إنجلترا تابعة لألمانيا)، فإنه كان تفكيرًا مبتكرًا من جانب أحد العلماء.

كان تركيز تحليل «ماذا لو» الذي قدمه كارتر غير معتاد هو الآخر من جانب الفيزيائيين النظريين؛ إذ إنه ركز على وجود الحياة، وعلى وجه الخصوص اقترحت حسابات كارتر أنه لو كانت القوانين مختلفة بقدر طفيف عما هي عليه بالفعل لأصبح من المحال وجود الحياة، وما خضع الكون للملاحظة. ومن ثم يقول كارتر إن وجودنا يعتمد على قدر محدد من «الضبط الدقيق» للقوانين. ومثلما هو الحال مع العصيدة في قصة ذات الضفائر الذهبية (جولديلوكس) والدببة الثلاثة، بدت قوانين الفيزياء في نظر كارتر «مناسبة تمامًا» للحياة، وكأن هذا أمر مقصود في حد ذاته. وفي تصرف غير حكيم منه أطلق على هذا الضبط الدقيق اسم «المبدأ الإنساني»، مما أعطى الانطباع الخاطئ بأنه متعلق بالبشر على وجه التحديد (مع أن هذا لم يكن مقصده على الإطلاق).

رغم أن ورقة كارتر البحثية اتسمت بالتواضع في منظورها والحذر فيما خلصت له من نتائج، فإنها أطلقت شرارة ثورة حقيقية في التفكير العلمي، وأشعلت جذوة جدل علمي محتدم ساد الأوساط العلمية منذ ذلك الوقت. في سبعينيات القرن العشرين اضطلع كل من مارتن ريز وبرنارد كار بدراسة هذا النوع من التحليل المضاد للواقع، ونتج عن دراستهما هذه ورقة بحثية بارزة نُشرت عام ١٩٧٩.[1] وقد تحمست بقراءة هذه الورقة فألفت كتابًا صغيرًا عن هذا الموضوع بعنوان «الكون العرضي» نشرته جامعة كامبريدج عام ١٩٨٢. بعدها بسنوات قليلة ظهر نص آخر أكثر منهجية واشتمالًا بعنوان «المبدأ الكوني الإنساني» لجون بارو وفرانك تيبلر،[2] وقد شكل هذا النص نقطة بدء لمئات الأبحاث العلمية لسنوات تالية.

في أوائل الثمانينيات تعرض المبدأ الإنساني للانتقاد من جانب عدد كبير من العلماء باعتباره ليس أكثر من لغو شبه ديني. وفي نقد ساخر ورد في مجلة نيويورك ريفيو أوف بوكس عام ١٩٨٦، صنف عالم الرياضيات والكاتب مارتن جاردنر النسخ المقترحة المختلفة للمبدأ الإنساني إلى: المبدأ الإنساني الضعيف، والمبدأ الإنساني القوي، والمبدأ الإنساني المشارك، والمبدأ الإنساني النهائي، وأخيرًا، والمفضل لديه، المبدأ الإنساني السخيف بالكامل.[3] ظلت هذه نبرة الجدل لحوالي العقد أو نحو ذلك. بيد أن التطورات التي شهدتها فيزياء الجسيمات عالية الطاقة وعلم الفلك — خاصة في دراسة الانفجار العظيم الحار الذي مثل لحظة مولد الكون — غيرت الآراء ببطء. إن قوانين الفيزياء، التي كان يُنظر لها وكأنها محفورة في ألواح صخرية، بدأت تبدو أكثر نسبية، وبدأت الأدلة تتزايد مؤكدة على أن بعضًا من هذه القوانين ليس على الأقل

من القوانين الأصلية الجوهرية، بل ليس إلا «قوانين ثانوية»، تنطبق صورتها المألوفة فقط في ظل طاقات أهدأ بكثير مقارنة بالنشاط العنيف الذي ساد وقت الانفجار العظيم. وفي الأساس اقترح التحليل النظري أن بعض ملامح القوانين قد تكون عرضية، مما يعكس تقلب الظروف التي في ظلها هدأت حرارة بقعتنا من الكون عما كانت عليه إبان الانفجار العظيم. يُستنتج من ذلك، بالطبع، أن أشكال هذه القوانين في ظل الحرارة المنخفضة كان من الممكن أن تكون مختلفة، وقد تكون مختلفة بالفعل الآن في مناطق مغايرة من الكون. إن ما اعتدنا أن نطلق عليه اسم «الكون» بدأ يبدو كأنه مجموعة متنوعة من «الأكوان»: «غطاء كثير الشقوق من البيئات ذات الخصائص والقوانين الفيزيائية المختلفة»، على حسب وصف ليونارد ساسكيند، عالم الفيزياء النظرية والكونيات بجامعة ستانفورد وأحد كبار أنصار فكرة الكون المتعدد.[4] لن يكون مثيرًا للدهشة إذن أن نجد أنفسنا، بطبيعة الحال، نعيش في منطقة صالحة للحياة؛ إذ إنه من المحال أن نوجد في مكان تستحيل فيه الحياة.

هنا بدأ الملحدون في الاهتمام بالأمر؛ فبسبب عدم رضاهم عما توحي به فكرة الضبط الدقيق للقوانين من وجود لتدخل إلهي، رأوا في نظرية الأكوان المتعددة تفسيرًا أنيقًا لتلك الملاءمة الغامضة للكون للحياة البيولوجية. لذا، وعلى نحو محير، بدأ يُنظر إلى المبدأ الإنساني على أنه بديل علمي لفكرة التصميم ونظرية شبه دينية في الوقت ذاته. بدأت علاقتي بهذا الأمر المتشابك عام ٢٠٠٣، حين أقنعت مؤسسة جون تمبلتون برعاية ورشة عمل عن نظرية الأكوان المتعددة في جامعة ستانفورد، التي تقاسمتُ رئاستها مع عالم الكونيات أندريه ليند. نُشرت نتائج مناقشاتنا في كتاب من تحرير برنارد كار.[5] وفي مارس/آذار من عام ٢٠٠٥ أقيمت ورشة عمل أخرى ركزت تركيزًا أكبر على نظرية الأوتار (وهي المحاولة الشائعة حاليًّا لتوحيد النظريات الفيزيائية).

في الوقت الذي كانت تحدث فيه هذه التطورات النظرية كانت تطورات رائعة تحدث في مجال مراقبة الكون. أتت هذه التطورات نتيجة عمليات المسح الدقيقة المتزايدة للكون بواسطة تلسكوب الفضاء هابل وغيره من أجهزة المراقبة الأرضية، وعملية الرسم الدقيقة للوهج المتبقي من الانفجار العظيم من خلال المسبار WMAP، والاكتشاف غير المتوقع بأن الكون يتمدد بتسارع بموجب تأثير «طاقة مظلمة» غامضة من نوع ما. نتيجة هذه التطورات صار علم الكونيات — الذي ظل لفترة طويلة مجالًا علميًّا راكدًا — من العلوم محل التركيز على

حين غرة، وأصبح يمتلئ بأفكار جديدة، كثير منها مستغرب ومنافٍ للحدس. يبدو أننا ندخل عصرًا جديدًا تتغير فيه وجهة نظرنا حيال الكون وموضع البشر فيه.

في هذا الكتاب سأشرح الأفكار التي تشكل أساس هذه التطورات الجذرية، مُركزًا تركيزًا خاصًا على «عامل جولديلوكس»، أي ملاءمة الكون للحياة. في الفصول الأولى سأوضح المفاهيم الأساسية لعلوم الفيزياء والكون الحديثة، ثم أصف نظرية الكون المتعدد والحجج المؤيدة والمعارضة لها. وبالقرب من نهاية الكتاب سألقي نظرة ناقدة على الاستجابات المتباينة لموضوع الضبط الدقيق، وسأتساءل أيضًا عما إذا كان العلماء على وشك التوصل إلى نظرية شاملة تفسر كل شيء — تفسيرًا كاملًا مستقلًا بذاته للكون المادي بأكمله — أم أن الوجود سوف يستمر على غموضه.

في هذه الفصول الأخيرة استقيت الإلهام من عالم الفيزياء النظرية العظيم جون آرتشيبولد ويلر، الذي أهديت له هذا الكتاب. تعرفت لأول مرة على أبحاث ويلر حين كنت طالبًا، وفي الأعوام التالية بدأت في التعرف عليه بصورة أفضل، على المستويين المهني والشخصي. زرته في أوستن بتكساس، وزارني في إنجلترا في عدد من المناسبات. وقد أغدق على كتابي الأول «فيزياء عدم التناظر الزمني»، مديحه الحار واهتم بأبحاثي على مدار ثلاثة عقود. ولقد شرفت بالمشاركة في تنظيم مؤتمر حفل يوم ميلاده التسعين في مارس/آذار من عام ٢٠٠٢، وهو الجمع الذي ضم لفيفًا من أبرز العلماء في برينستون بنيو جيرسي، حيث بدأ ويلر حياته المهنية وأنهاها.

في أواخر ثلاثينيات القرن العشرين عمل ويلر مرافقًا للعالم الأسطوري نيلز بور على بعض الجوانب الجوهرية للانشطار النووي، ثم واصل العمل ليشهد إعادة مولد نظرية الجاذبية في الخمسينيات، مستكملًا العمل الذي بدأه أينشتاين. إن ويلر هو من صك مصطلحات على غرار «الثقوب السوداء» و«الثقوب الدودية». وأهم من كل ذلك فإنه أدرك الحاجة للجمع بين الركيزتين اللتين يقوم عليهما علم الفيزياء في القرن العشرين؛ نظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم، في نظرية موحدة للجاذبية الكمية. وقد تمتع العديد من تلامذته بحياة مهنية علمية بالغة التميز، على غرار العالم الشهير الحاصل على جائزة نوبل ريتشارد فاينمان.

اتسم أسلوب ويلر بالتميز؛ إذ كان أستاذًا لما يعرف بـ «تجارب الفكر»، التي يأخذ فيها فكرة مقبولة ثم يبني عليها مجموعة من الاستنتاجات الجامحة كي يرى هل ستصمد أمامها. كان يحب التركيز على الأسئلة الكبيرة: هل يمكن توحيد علم

الفيزياء؟ هل يمكن للزمان والمكان أن ينشآ من كيان أساسي واحد؟ هل يمكن أن تعمل السببية عكس اتجاه الزمان؟ هل يمكن اختصار قوانين الفيزياء المعقدة والمجردة إلى عبارة بديهية واحدة بسيطة؟ وما هو وضع المراقب وسط هذا النظام؟ مدفوعًا بعدم رضاه عن مجرد الاكتفاء بتطبيق قوانين ميكانيكا الكم، أراد أن يعرف من أين أتت هذه القوانين، حيث تساءل: «من أين أتت ميكانيكا الكم؟» أيضًا لعدم سعادته بالتفريق بين مفهومي المادة والمعلومات اقترح فكرة «الشيء من الوحدة»، أي ظهور جزيئات مادية من وحدات المعلومات. والأكثر طموحًا على الإطلاق كان سؤاله: «من أين أتى الوجود؟» وهو محاولة لتفسير «كل شيء» دون اللجوء لأساس ثابت من الحقائق المادية التي يجب القَبول بها بوصفها «مسلمات».

ذات مرة سألت ويلر عما يعتقد أنه أهم إنجازاته، وقد أجابني: «التقلب!» كان يعني بهذا أنه لا شيء مطلق، ولا شيء من الجوهرية بحيث يستحيل تغييره في ظل الظروف المتطرفة الملائمة، وهذا يشمل قوانين الكون نفسها. هذه المفاهيم معًا قادته لاقتراح فكرة «الكون المشارك»، وهي فكرة (أو، كما يفضل ويلر، «فكرة من فكرة») ثبت كونها جزءًا مهمًّا من مناقشة الكون المتعدد/المبدأ الإنساني. مثَّل ويلر — في مبادئه وتوجهاته — قطاعًا عريضًا من العلماء؛ إذ كان ملتزمًا بالكامل بالمنهج العلمي في البحث، لكن دون الخوف من معالجة القضايا الفلسفية العميقة، التي لا يجب أن تكون دينية بالضرورة، بل مستوحاة من تبجيلنا للطبيعة وإحساسنا العميق بأن البشر جزء من نظام أكبر نعجز عن رؤيته بالكامل، كما كان جريئًا بما يكفي بحيث يتبع قوانين الفيزياء حيث تقوده، لكنه لم يكن متعجرفًا بحيث يظن أننا نملك كل الإجابات.

حاولت في هذا الكتاب استخدام لغة غير فنية قدر الإمكان في شروحاتي وذلك بتجنب استخدام المصطلحات الفنية المتخصصة والأوصاف المعقدة التي لا داعي لها. ولا يحوي الكتاب أيضًا إلا أقل قدر ممكن من المعادلات. ومن حين لآخر استخدمت بعض الإطارات لتلخيص عرض أحد الموضوعات الصعبة أو التوسع فيها. بصورة ما يعد هذا الكتاب تكملة لكتابي السابق «عقل الإله»[6] لكن رغم تركيزه على المفاهيم العميقة ذات المغزى فإنه مقصود به أن يكون مقدمة مباشرة لعلم الكونيات الحديث والفيزياء الأساسية. ولقد فرقت تفريقًا واضحًا بين الحقائق الراسخة والتنظير المنطقي والفرضيات الجامحة. إن الغرض الأساسي لهذا الكتاب هو أن يكون أقرب ما يمكن للبحث العلمي والتفكير المنطقي، وذلك كي يعالج

أسئلة الوجود الصعبة. ولم أحاول الأخذ بأي من طرق الاستكشاف الأخرى مثل التصوف أو التنوير الروحي أو الإلهام الناتج عن الخبرات الدينية.

ساعدني الكثيرون في هذا الكتاب. أولهم وأهمهم زوجتي، بولين، التي تملك رأيًا حاسمًا حيال أي استنتاج مبهم أو افتراضات غير مبررة، واهتمامًا دقيقًا بالتفاصيل. لقد قرأت نص الكتاب بتدقيق استثنائي، متصيدة أي تفسيرات محيرة أو استنتاجات غير صائبة، ووجهت لي اللوم على ميلي الذي يتعذر كبحه للانزلاق إلى التفلسف الحالم. (وقد انتقدت أيضًا أن الكتاب انتهى حين بدأ يكون مشوقًا ومثيرًا للاهتمام.) إن وجود هذه الناقدة الصارمة بالقرب مني حَسَّنَ مستوى الكتاب تحسينًا هائلًا. كان وكيلي الأدبي، جون بروكمان، هو القوة الدافعة خلف هذا المشروع، حيث أدرك أن علم الكونيات يقع الآن في مفترق طرق، وأن العامة من القراء في حيرة شديدة جراء الكم الهائل من الاكتشافات والنظريات الجديدة. ولقد استفدت كثيرًا من المشاركين في ورشتي العمل اللتين أقيمتا في جامعة ستانفورد، خاصة أندريه ليند. وإنني ممتن لمؤسسة جون تمبلتون لأنها كانت السبب وراء ظهور هاتين الورشتين إلى النور. على مر السنين أثر أشخاص كثيرون على تفكيري، في حالات كثيرة من خلال التواصل والنقاشات الشخصية، وأيضًا من خلال أعمالهم المكتوبة؛ من هؤلاء نانسي أبرامز، وجون بارو، وبرنارد كار، وبراندون كارتر، وديفيد دويتش، ومايكل داف، وجورج إليس، وديفيد جروس، وجون ليزلي، وتشارلز لاينويفر، وجويل بريماك، ومارتن ريز، وفرانك تيبلر، وبالطبع جون ويلر. وأود أن أشكر كريس فوربس على ملحوظاته التي أبداها على جزء من مخطوطة الكتاب التمهيدية وجون وودراف على اهتمامه الشديد في تحرير الكتاب.

ملحوظة عن الأرقام

في هذا الكتاب سأتعامل مع أرقام كبيرة للغاية وأخرى صغيرة للغاية. في أحوال عديدة كتبت هذه الأرقام بالكلمات، لكن في بعض المواضع، بسبب الضرورة، اعتمدت على الصيغة التقليدية التي تستخدم الأسس للأساس ١٠ على النحو الآتي:

مليون	١٠٠٠٠٠٠	$١٠^{٦}$
مليار	١٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{٩}$
تريليون	١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{١٢}$
واحد على مليون	١/١٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-٦}$
واحد على مليار	١/١٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-٩}$
واحد على تريليون	١/١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-١٢}$

الفصل الأول

الأسئلة الكبرى

(١) مواجهة لغز الوجود

لآلاف السنين فكر البشر في العالم المحيط بهم محاولين معرفة إجابة أسئلة الوجود العظيمة: لماذا نحن هنا؟ كيف بدأ الكون؟ وكيف سينتهي؟ وكيف تكوّن العالم؟ ولماذا هو على النحو الذي هو عليه؟ وعلى مدار التاريخ الإنساني المدون بحث الناس عن إجابات لهذه الأسئلة «المطلقة» في الأديان والفلسفات، أو أعلنوا أنها تقع خارج نطاق الفهم البشري. لكن العديد من هذه الأسئلة صار جزءًا من العلم اليوم، ويزعم بعض العلماء أنهم على وشك تقديم إجابات لها.

عزز تطوران رئيسيان من ثقة العلماء من أن الإجابة قريبة المنال؛ أولهما: هو التقدم الهائل في علم الكونيات، والمقصود به دراسة البنية الكلية للكون وتطوره؛ فالملاحظات التي توفرها لنا الأقمار الصناعية، وتلسكوب الفضاء هابل، ومعدات المراقبة الأرضية المتقدمة اجتمعت معًا كي تغير من نظرتنا إلى الكون ومكان الإنسان داخل هذا الكون. ويتمثل التطور الثاني في فهمنا المتزايد للعالم الميكروسكوبي داخل نواة الذرة، وهو الموضوع المعروف باسم فيزياء جسيمات الطاقة العالية، وعادة يتم ذلك عن طريق المسارعات الجزيئية العملاقة (ما كانت تعرف في السابق باسم «محطمات الجزيئات») من النوع الموجود في معمل فيرميلاب قرب شيكاجو ومعمل سيرن على أطراف جينيف. بالجمع بين الاثنين يتوافر لدينا إشارات إيجابية عن ذلك الرابط العميق الذي لم يخضع للبحث من قبل بين عالم الجسيمات الدقيقة وعالم الأجرام الهائلة. إن علماء الكونيات مغرمون بالقول إن الانفجار العظيم، الذي نتج عنه مولد الكون منذ مليارات السنين، كان أكبر تجربة لفيزياء الجسيمات. تقودنا هذه التطورات الهائلة صوب أمر آخر

أعظم، ألا وهو التوصل لوصف كامل موحد للطبيعة، «نظرية كل شيء» يكون فيها التوصيف الكامل للعالم المادي بأسره مدمجًا في مخطط تفسيري واحد.

(٢) الكون ملائم للحياة

من أكثر الحقائق أهمية — بل ربما أكثرها أهمية — بخصوص الكون أننا جزء منه. لكن ينبغي من البداية أن أقر بأن العديد من العلماء والفلاسفة يختلفون بشدة مع هذه العبارة؛ بمعنى أنهم لا يرون للحياة أو الوعي البشري أي أهمية في النظام الكوني، إلا أنني أولي أهمية كبيرة للحياة والعقل (الوعي)، وذلك لأسباب سأذكرها قريبًا. من الوهلة الأولى قد لا يبدو أن هناك علاقة بين الحياة وعلم الكونيات. من المؤكد بالطبع أن سطح كوكب الأرض تغير بفعل الحياة، لكن على النطاق العظيم للكون ما كوكب الأرض إلا نقطة متناهية الصغر. ومع ذلك هناك إحساس غير مباشر بأن وجود الحياة في الكون هو حقيقة كونية لها أهميتها؛ إذ إنه كي تظهر الحياة، ثم تتطور إلى كائنات واعية مثلنا، من الحتمي الوفاء بشروط معينة؛ فمن المتطلبات الأساسية للحياة — على الأقل الحياة كما نعرفها — وجود مخزون كافٍ من العناصر الكيميائية المتنوعة اللازمة لتكوين الكتلة البيولوجية. إن الكربون هو العنصر الأهم لظهور الحياة، إلا أن للأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكبريت والفسفور أهميتها هي الأخرى. ويعد الماء السائل من المكونات الضرورية للحياة هو الآخر. وتتطلب الحياة أيضًا مصدرًا للطاقة وبيئة مستقرة، وهو ما يتوفر في حالتنا عن طريق الشمس. كي تتطور الحياة لما بعد مستوى الميكروبات البسيطة، ينبغي أن تستمر هذه البيئة المشجعة للحياة على اعتدالها لوقت طويل، وقد استغرق الأمر مليارات السنين كي تصل الحياة على الأرض لمرحلة الذكاء.

على نطاق أشمل ينبغي أن يكون الكون قديمًا وباردًا بشكل ملائم بما يسمح بوجود مثل هذه الكيمياء المعقدة، وينبغي أن يتسم بقدر كاف من التنظيم بحيث يستوعب ذلك التكوين غير المحدود من المجرات والنجوم. أيضًا لا بد من وجود نوعية مناسبة من القوى بين جزيئات المادة كي تعمل على إيجاد ذرات مستقرة، وجزيئات معقدة، وكواكب، ونجوم. إن كان أي من الملامح الأساسية للكون مختلفًا — بداية من خصائص الذرات إلى توزيع المجرات — لكان من المحال ظهور الحياة.[1] يتصادف أنه من أجل تحقيق هذه المتطلبات المتعددة ينبغي الالتزام بعدد من الشروط

الصارمة في قوانين الفيزياء الأساسية التي تنظم حركة الكون، وهي صارمة إلى حد أن حقيقة أن الكون ملائم للحياة تبدو كأنها مدبرة، أو «مقصودة»، إذا استخدمنا الوصف القوي لعالم الكونيات البريطاني الراحل فريد هويل. بدا لهويل كما لو أن هناك قوى ما «تعدل» من قوانين الفيزياء.[2] وقد كان محقًّا في فكرته هذه؛ فمن الظاهر يبدو الكون بالفعل كما لو أنه مصمم تصميمًا مقصودًا من أجل ظهور الحياة البشرية العاقلة. تمامًا مثل العصيدة في حكاية جولديلوكس والدببة الثلاثة، يبدو كأن الكون «ملائم تمامًا» للحياة، بصور عديدة مثيرة للاهتمام. ولا يمكن اعتبار أي تفسير علمي للكون كاملًا إذا لم يضع في الحسبان فكرة التصميم الحصيف تلك.

حتى وقت قريب كان «عامل جولديلوكس» محل تجاهل من جانب العلماء، لكن هذا الأمر يتغير الآن تغيرًا سريعًا. وكما سأناقش في الفصول التالية، صار العلم على وشك العثور على حل لغز ملاءمة الكون للحياة بهذا الشكل المذهل، لكن يتطلب هذا التفسير فهم كيفية بداية الكون وتطوره إلى شكله الحالي، ومعرفة المادة التي يتكون منها، وكيف يتشكل ويتركب بفعل قوى الطبيعة المختلفة. وأهم من كل ذلك يتطلب الأمر منا أن نتقصى طبيعة قوانين المادة نفسها.

(٣) الشفرة الكونية

على مدار التاريخ اقتنع العديد من المفكرين البارزين بأن العالم الذي نرصده بحواسنا ليس إلا تجسيدًا سطحيًّا لحقيقة خفية أعمق، من المفترض أن نعثر بها على إجابات أسئلة الوجود العظيمة. ظل هذا الاعتقاد مسيطرًا حتى إن مجتمعات بأكملها تشكلت وفقه. استعان الباحثون عن الحقيقة بطقوس وشعائر، واستخدموا العقاقير والتأمل من أجل الدخول في حالات أشبه بالغشية، واستشاروا الكهنة والمتصوفين ورجال الدين في محاولة منهم لكشف النقاب عن العالم الغامض الواقع خلف ذلك الذي ندركه. وقد ظل البحث عن سبيل لذلك العالم الخفي شغلًا شاغلًا لجميع الثقافات، بداية من أساطير سكان أستراليا الأصليين وصولًا إلى فكرة تذوق آدم وحواء الثمرة المحرمة لشجرة المعرفة.

لم يساعد الجدل الفكري والمنطق على التخلص من الفكرة الآسرة بوجود حقيقة خفية. شبَّه الفيلسوف اليوناني القديم أفلاطون عالمنا الظاهر بظل يتراقص

على جدران أحد الكهوف، وكان أتباع فيثاغورث مقتنعين بأن الأرقام تحمل مغزى خفيًّا، ويذخر الإنجيل بإشارات عديدة للأعداد، على سبيل المثال الظهور المتكرر للرقمين ٧ و٤٠، أو ارتباط العدد ٦٦٦ بالشيطان. إن قوة الأرقام قادت إلى الاعتقاد بأنه بإمكان أرقام، وأشكال هندسية، ومعادلات بعينها أن تنشئ تواصلًا مع ذلك العالم الخارق للطبيعة، وأنه يمكن لشفرات غامضة، معروفة فقط للمطلعين، أن تكشف لنا عن أسرار الكون الخفية.[3] لا تزال بقايا علم الأعداد العتيق موجودة في وقتنا هذا؛ إذ يعتقد بعض المؤمنين بالخرافات أن أرقامًا مثل ٨ و١٣ قد تكون جالبة للحظ السعيد أو التعيس.

لم تحقق محاولات اكتساب معلومات مفيدة عن العالم من خلال السحر والتصوف والشفرات الرياضية السرية أي نجاح. لكن منذ حوالي ٣٥٠ عامًا عثر أعظم ساحر عرفته البشرية على مفتاح الكون، شفرة كونية يمكنها فتح أبواب المعرفة. كان هذا الرجل هو إسحاق نيوتن، المتصوف وعالم اللاهوت والخيميائي، ورغم ميله للتصوف فإنه كان أكثر من أسهم في تغيير عصر السحر إلى عصر للعلم. أسهم نيوتن، مع عدد قليل من العلماء البارزين من بينهم نيكولاس كوبرنيكوس ويوهانز كبلر وجاليليو جاليلي، في ميلاد عصر العلم الحديث. إن كلمة science التي تعني «علم» بالإنجليزية مشتقة من الكلمة اللاتينية scientia التي تعني «المعرفة». في البداية لم يكن العلم إلا أسلوبًا غامضًا آخر من الأساليب الكثيرة التي تسعى للتغلب على قصور حواسنا على أمل الوصول إلى الحقيقة غير المرئية. لكن هذا النوع تحديدًا من «السحر» الذي وظفه العلماء الأوائل تضمن إجراءات خاصة لم تكن مألوفة حتى ذلك الوقت؛ على غرار إجراء الحسابات باستخدام الرموز الرياضية على قطع من الورق واستمالة المادة للتصرف على نحو غريب. اليوم نحن نأخذ هذه الأمور كأمور مسلم بها ونطلق عليها نظريات وتجارب علمية. لم يعد منهج البحث العلمي فرعًا من السحر؛ تلك الهواية الغريبة التي تمارسها جماعة مغلقة من الكهنة. إلا أن الألفة تولد الازدراء، وفي أيامنا هذه بات يُنظر إلى أهمية المنهج العلمي بنوع من عدم التقدير. وعلى وجه الخصوص لا يندهش الناس كثيرًا من أن العلم «ناجح» بالفعل، وأننا نملك بين يدينا مفتاح هذا الكون. لقد كان القدماء محقين؛ فأسفل ذلك التعقيد السطحي للطبيعة يكمن معنى ضمني، مكتوب بشفرة رياضية بارعة. تحتوي هذه الشفرة الكونية[4] على القواعد السرية التي يسير العالم وفقًا لها. تعامل نيوتن وجاليليو وغيرهما من أوائل

العلماء مع هذا البحث كنوع من السعي الديني؛ إذ كانوا يعتقدون أنه بالكشف عن الأنماط المنسوجة في عمليات الطبيعة سيتعرفون بشكل أكبر على عقلية الخالق.[5] لا يتعامل أغلب العلماء المعاصرين مع العلم من المنظور الديني، ومع ذلك فهم يقبلون بوجود نص واضح تعمل الطبيعة وفقه، لأنهم لو لم يؤمنوا بذلك فسيفتقدون الدافع للبحث العلمي من الأساس، وهو الكشف عن شيء ذي معنى بشأن العالم لسنا على معرفة به بالفعل.

لم يكن العثور على مفتاح الكون أمرًا حتميًّا، ففي البداية لا يوجد سبب منطقي يحتم وجود هذا النص الرياضي الكامن في الطبيعة من الأساس. وحتى لو كان موجودًا فلا يوجد سبب واضح يجعل البشر قادرين على فهمه. إنك لن تستطيع قط بالنظر إلى العالم المادي تخمين أن أسفل سطح الظواهر الطبيعية المضطربة يكمن نظام مجرد لا يمكن رؤيته أو سماعه، فقط يمكن استنتاج وجوده. وحتى أصحاب أذكى العقول لا يمكنهم من واقع الخبرات اليومية وحدها أن يدركوا أن النظم الطبيعية المتباينة التي يتألف منها الكون متصلة، في أعماقها، بواسطة شبكة من العلاقات الرياضية المشفرة. ومع ذلك فقد كشف العلم عن وجود هذا النطاق الرياضي الخفي، وهكذا صرنا، نحن البشر، مطلعين على كيفية عمل الكون. إن الحيوانات الأخرى تشاهد نفس الظواهر مثلنا، لكن المخلوق الوحيد على سطح هذا الكوكب الذي تمكن من تفسيرها هو الإنسان العاقل.

كيف تحقق هذا؟ بشكل ما صمم الكون، ليس فقط وعيه الخاص، بل أيضًا فهمه الخاص. لقد تآزرت الذرات المتخبطة غير العاقلة كي لا توجد الحياة وحدها، ولا العقل وحده، بل الفهم أيضًا. وهكذا أنتج الكون المتطور بشرًا قادرين ليس فقط على مشاهدة العرض، بل على كشف حبكته أيضًا. ما الذي مكن شيئًا صغيرًا رقيقًا متكيفًا مع الحياة الأرضية كالمخ البشري أن يتوحد مع شمولية الكون والنغمة الرياضية الصامتة التي يرقص وفقًا لها؟ حسب علمنا، هذه هي المرة الأولى والوحيدة في أي مكان من الكون التي تفهمت فيها العقول الشفرة الكونية. وإذا زال البشر من الوجود في غمضة عين كونية فقد لا يحدث هذا مجددًا. قد يستمر الكون لتريليون عام أخرى، محاطًا بالغموض التام، خلا لحظة تنوير عابرة مرت على كوكب صغير يدور حول نجم عادي في مجرة لا يميزها شيء، ظهرت للوجود بعد ١٣,٧ مليار عام من بداية كل شيء.

هل لا يمكن أن يكون هذا إلا مصادفة؟ هل حقيقة ارتباط أعمق مستويات الواقع مع ظاهرة طبيعية خاصة نطلق عليها «العقل البشري» قد لا تمثل سوى لحظة شذوذ وقتية عجيبة مرت بهذا الكون العبثي الذي بلا معنى؟ أم أن هناك حبكة أخرى أعمق تؤدي عملها؟

(٤) مفهوم القوانين

ربما أوصلت لك انطباعًا بأن نيوتن كان ينتمي لطائفة صغيرة توصلت إلى العلم بطريقة مفاجئة أثناء الاجتهاد الروحي، إلا أن هذا ليس صحيحًا. إن عملهم لم يجرِ في فراغ ثقافي، بل كان نتاجًا لتقاليد عديدة قديمة، إحداها جاء من الفلسفة الإغريقية، التي شجعت على فكرة أن العالم يمكن تفسيره بالمنطق والتفكير والحسابات الرياضية. تقليد آخر هو الزراعة، التي تعلم الناس منها النظام والفوضى عن طريق مراقبة دورات الطبيعة وإيقاعاتها، التي تقاطعها الكوارث المفاجئة غير المتوقعة. أيضًا لعبت الأديان دورًا، خاصة الديانات التوحيدية التي شجعت على الإيمان بفكرة العالم المخلوق المنظم. إن الافتراض الذي قام عليه العلم هو أن الكون المادي ليس اعتباطيًا أو منافيًا للعقل، إنه ليس ركامًا لا معنى له من الأشياء والظواهر الموضوعة جنبًا إلى جنب بشكل عشوائي، بل هناك «نظام متسق» للأمور. عادة ما يعبَّر عن هذه الفكرة بالحكمة المأثورة التي تقول إن هناك نظامًا في الطبيعة. لكن العلماء تجاوزوا هذه الفكرة المبهمة ومضوا ليصوغوا نظامًا من «القوانين» الدقيقة.

إن وجود قوانين الطبيعة هو نقطة البدء التي ينطلق منها هذا الكتاب، بل في الحقيقة هو نقطة البدء للعلم نفسه، لكن من البداية سنواجه بلغز بديهي وعميق وهو:

من أين أتت قوانين الطبيعة؟

كما أشرت، فإن نيوتن وجاليليو، ومعاصريهما، نظروا إلى القوانين بوصفها أفكارًا في عقل الخالق، وأن الصيغ الرياضية الأنيقة هي تجسيد للخطة المنطقية الإلهية التي يسير الكون وفقًا لها. قليل من علماء اليوم هم من قد يصفون قوانين الطبيعة بمثل هذه الكلمات الغريبة. ومع ذلك يبقى التساؤل الخاص بماهية هذه القوانين

ولماذا تتخذ الشكل الذي هي عليه، وكيف، في غير ضوء فكرة التدبير الإلهي، يمكن تفسيرها؟

من الناحية التاريخية شُبهت قوانين الطبيعة بالقانون المدني، الذي نشأ كوسيلة لتنظيم المجتمع الإنساني. يعود مفهوم القانون المدني إلى وقت استقرار أول المجتمعات، حين ظهر احتياج لنوع من السلطة للحيلولة دون الاضطراب المجتمعي. وبشكل تقليدي كان القائد المستبد يصوغ مجموعة من القواعد ثم يجبر العامة على الانصياع لها. وبما أن القواعد التي تناسب شخصًا قد لا تلائم آخر، اعتاد الحكام الالتجاء إلى السلطة الإلهية لتدعيم سلطاتهم. قد يكون إله مدينة ما ليس إلا تمثالًا حجريًّا موضوعًا بميدان المدينة، ويعين أحد الكهنة من أجل تأويل أوامر هذا الإله. إن فكرة التحول إلى سلطة عليا غير مادية كنوع من التأييد للقوانين المدنية موجودة في الوصايا العشر والتوراة لدى اليهود. واستمرت بقايا هذه الفكرة حتى العصر الحديث على صورة مفهوم الحق الإلهي الذي يحكم بموجبه الملوك.

أيضًا تم الالتجاء إلى القوى العليا الخفية بغرض دعم قوانين الطبيعة. في القرن الرابع قبل الميلاد وصف الفيلسوف الرواقي كليانثيز «الطبيعة الشاملة التي تقود كل شيء وفق القانون.»[6] ربما تبدى نظام الطبيعة في أوضح صوره في السماء، نطاق الآلهة الأساسي. وفي الحقيقة، فإن مصطلح علم الفلك، astronomy بالإنجليزية، يعني «قانون النجوم». في القرن الأول قبل الميلاد أشار الشاعر الروماني لوكريتيوس إلى الطريقة التي تطلب بها الطبيعة «من كل شيء أن ينصاع للقانون الذي يحكم خلقه.»[7] في القرن الأول الميلادي عبر ماركوس مانيليوس بوضوح عن مصدر النظام في الطبيعة حين كتب: «لقد أخضع الله الكون بأكمله للقانون.»[8] كان هذا هو المبدأ الذي يعتنقه بإخلاص أتباع الديانات التوحيدية: أن الله هو الخالق وواضع القوانين، وهو الذي نظم الطبيعة وفق أغراضه الإلهية. ومن هذا المنطلق كتب عالم اللاهوت أوجستين: «إن المسلك المعتاد الذي تسلكه الطبيعة في الخلق بأكمله له قوانين طبيعية محددة.»[9]

بحلول القرن الثالث عشر كان علماء اللاهوت وطلاب العلم في أوروبا، أمثال روجر بيكون، قد وصلوا إلى نتيجة مفادها أن قوانين الطبيعة لها أساس رياضي، وهي الفكرة التي تعود جذورها إلى فيثاغورث. صارت جامعة أكسفورد وجهة لطلاب العلم الذين طبقوا الفلسفة الرياضية على دراسة الطبيعة. من أولئك الذين يطلق عليهم «حاسبو أكسفورد» توماس برادواردين (١٢٩٥–١٣٤٩)، الذي صار

رئيس أساقفة كانتربيري. يُنسب لبرادواردين أول عمل علمي يعلن عن قانون رياضي فيزيائي عام بالمفهوم الحديث. في ظل هذه الخلفية ليس من المستغرب إذن أنه حين ظهر العلم الحديث في أوروبا المسيحية في القرنين السادس عشر والسابع عشر، كان من الطبيعي للعلماء الأوائل أن يؤمنوا بأن القوانين التي كانوا يكتشفونها في السماء والأرض كانت محض تجسيدات لخطة العمل الإلهية المثالية.

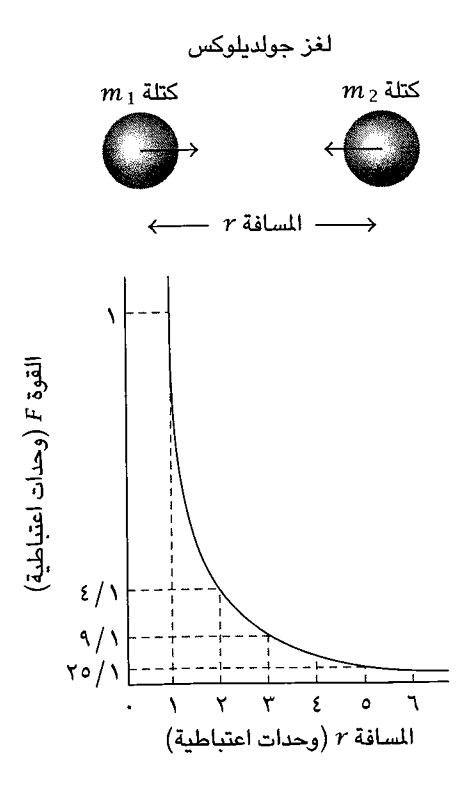
(٥) المكانة الخاصة لقوانين الفيزياء

اليوم، تحتل قوانين الفيزياء الموضع المركزي في العلم، بل في الواقع صار لها قدسية خاصة، وعادة ما يستشهد بها كأساس للواقع المادي. دعني أعطك مثالًا من الحياة اليومية، إذا ذهبت إلى بيزا في إيطاليا، ستتمكن من رؤية برج بيزا المائل الشهير (الآن عُدل وضعه بواسطة بعض الأعمال الهندسية بحيث يكون الميل آمنًا). يُروى أن جاليليو ألقى بعض الكرات من قمة البرج كي يبين كيفية سقوطها بفعل الجاذبية. وسواء كانت هذه القصة صحيحة أم لا، إلا أنه بالتأكيد أجرى بعض التجارب الدقيقة على الأجسام الساقطة، وبهذا تمكن من اكتشاف القانون التالي: إذا أسقطت كرة من قمة مبنى مرتفع وقست المسافة التي ستقطعها خلال ثانية واحدة، ثم كررت التجربة على ثانيتين، ثم ثلاث ثوان، وهكذا دواليك، ستجد أن المسافة التي تقطعها الكرة تتزايد بمقدار مربع زمن السقوط، فالكرة ستسقط في ثانيتين أربعة أضعاف مقدار سقوطها في ثانية واحدة، وتسعة أضعاف في ثلاث ثوان، وهكذا. يتعلم طلبة المدارس هذا القانون بوصفه من «حقائق الطبيعة» وفي المعتاد لا يولونه الكثير من التفكير. لكنني أريد التوقف هنا وأسأل هذا السؤال: لماذا؟ لماذا يحكم هذا القانون الرياضي حركة الأجسام الساقطة؟ من أين تأتي القاعدة؟ ولماذا تنطبق هذه القاعدة وليست غيرها؟

دعني أعطك مثالًا آخر على قوانين الفيزياء، وهو قانون ترك تأثيرًا كبيرًا عليّ وأنا في أيام الدراسة، يخص هذا القانون الطريقة التي تفقد بها قطع المغناطيس القدرة على جذب بعضها بعضًا مع الابتعاد. ضع القطع بعضها إلى جوار بعض ثم قس قوة الجذب مع تزايد المسافة بينها. ستجد أن قوة الجذب تقل بمعدل مكعب المسافة، بمعنى أنك إذا ضاعفت المسافة بين قطعتي المغناطيس فستقل قوة الجذب إلى الثمن، وإذا ضاعفتها ثلاث مرات فستقل القوة إلى واحد على سبعة وعشرين، وهكذا. ومرة ثانية يحضرني نفس السؤال: لماذا؟

بعض قوانين الفيزياء تحمل اسم مكتشفيها على غرار قانون بويل للغازات الذي يخبرك بأنك إذا ضاعفت حجم كتلة ثابتة من الغاز مع الحفاظ على درجة الحرارة دون تغيير، يقل الضغط إلى النصف. أو قوانين كبلر لحركة الكواكب التي يقول أحدها إن مربع فترة الدوران يتناسب طرديًا مع مكعب نصف قطر المدار. ربما يكون أشهرها هي قوانين نيوتن للحركة والجاذبية، ذلك الأخير الذي يقال إنه استُوحي من سقوط تفاحة من إحدى الأشجار. ينص قانون الجاذبية هذا على أن قوة الجاذبية تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة التي تفصل الجسمين. يعني هذا أن القوة التي تربط كوكب الأرض بالشمس وتمنعه من التحليق بعيدًا في الفضاء ستقل إلى الربع إذا كان مدار الأرض حول الشمس ضعف المدار الحالي. يعرف هذا القانون باسم قانون التربيع العكسي. يقدم الشكل رقم ١-١ توضيحًا لهذا القانون.

إن حقيقة انصياع العالم المادي للقوانين الرياضية قادت جاليليو إلى تلك العبارة الشهيرة التي قال فيها: «إن كتاب الطبيعة العظيم يمكن قراءته فقط بواسطة من يعرفون اللغة التي كتب بها، وهذه اللغة هي الرياضيات.»[10] عُبِّر عن نفس النقطة بوضوح أكبر بعدها بثلاثة قرون على لسان عالم الفلك البريطاني جيمس جينز حين قال: «يبدو كأن الكون صُمم على نحو رياضي صرف.»[11] إن هذا الجانب الرياضي هو الذي يجعل ما يعنيه الفيزيائيون بكلمة «نظرية»، التي كثيرًا ما يساء فهمها، ممكنًا. تستلزم الفيزياء النظرية كتابة معادلات تسجل (أو تُنَمْذِج، كما يقول العلماء) العالم الحقيقي في عالم رياضي من الأرقام والمعادلات الجبرية. بعد ذلك، من خلال العمل على الرموز الرياضية، يمكن لنا التوصل لما سيحدث في العالم الحقيقي، دون مشاهدة هذا الأمر وهو يحدث حدوثًا فعليًا. يعني هذا أنه بتطبيق المعادلات التي تعبر عن القوانين المتصلة بالمشكلة محل الاهتمام، يمكن لعالم الفيزياء النظرية التنبؤ بالإجابة. على سبيل المثال، باستخدام قوانين نيوتن للحركة والجاذبية يمكن للمهندسين تحديد متى تصل المركبة الفضائية المنطلقة من الأرض إلى كوكب المريخ. أيضًا يمكنهم حساب كميات الوقود المطلوبة، وأفضل مدار مناسب، وعدد كبير من العوامل الأخرى قبل بدء المهمة الفعلية. وهذا الأمر ينجح! إن النموذج الرياضي يصف بأمانة ما سيحدث بالفعل في العالم الحقيقي. (بالطبع عند التطبيق العملي ربما يكون علينا تبسيط النموذج من أجل توفير وقت هذا التحليل وتكلفته، ما يجعل التنبؤات صحيحة فقط بمستوى معين من التقريب، بيد أن هذا ليس خطأ القوانين.)



شكل ١-١: **قانون التربيع العكسي للجاذبية:** تقل قوة التجاذب بين كتلتين m_1 وm_2 (قد تكونان نجمين أو كوكبين) مع زيادة المسافة بين مركزيهما وفق المنحنى البسيط الموضح.

حين كنت أدْرس بالجامعة كنت معجبًا بطالبة في نفس عامي الدراسي اسمها ليندسي. لم أكن أراها كثيرًا لأنها كانت تدرس الفن بالأساس وكنت أدرس أنا العلوم والرياضيات، لكننا كنا نلتقي في مكتبة الجامعة من وقت لآخر. ذات مرة كنت منهمكًا في إجراء بعض الحسابات، إنني حتى أذكر عمَّا كانت تدور: إذا ألقيت كرة في الهواء بسرعة معينة وبزاوية محددة، تمكنك قوانين نيوتن من معرفة المسافة التي ستقطعها الكرة في الهواء قبل أن تهبط على الأرض. تخبرنا المعادلة أنه للوصول إلى أبعد مدى ممكن عليك أن تلقي الكرة بزاوية قدرها ٤٥ درجة على المستوى الأفقي. إذا كانت الأرض التي تقف عليها منحدرة إلى أعلى يجب أن تكون الزاوية أكبر، ويعتمد مقدار الكبر على مقدار انحدار الأرض. كنت منهمكًا في

حساب المدى الأبعد على أحد السطوح المائلة حين نظرت لي ليندسي وسألتني عما كنت أفعل. بعد أن شرحت لها الأمر بدت عليها الحيرة والتشكك وسألتني: «كيف يمكنك أن تعرف ما ستفعله الكرة بكتابة بعض الأرقام على قطعة من الورق؟» في ذلك الوقت لم ألق بالًا لسؤالها واعتبرته سخيفًا، فعلى أي حال هذا هو ما تعلمنا فعله! لكن على مر السنين بدأت أرى أن استجابتها العفوية تصف بدقة واحدًا من أعمق ألغاز العلم: لماذا تنعكس الطبيعة في صورة واقع رياضي؟ لماذا تنجح الفيزياء النظرية؟[12]

(٦) كم عدد القوانين الموجودة؟

مع تزايد فهم العلماء أكثر وأكثر لكيفية عمل الطبيعة بدأت تظهر إلى الضوء جميع أنواع القوانين التي لم يكن من السهل التوصل إليها من الملاحظة العرضية للعالم، على غرار القوانين المنظمة للمكونات الداخلية للذرة أو تكوين النجوم. تثير كثرة القوانين سؤالًا آخر تصعب إجابته وهو: كم يبلغ طول قائمة القوانين الكاملة؟ هل تضم عشرة قوانين؟ مائتين؟ هل يمكن أن تمتد القائمة إلى ما لا نهاية؟

ليست جميع القوانين مستقلة بعضها عن بعض، فبعد أن بدأ جاليليو وكبلر ونيوتن وبويل اكتشاف قوانين الفيزياء بوقت قصير وجد العلماء روابط تجمع هذه القوانين. على سبيل المثال، «تفسر» قوانين نيوتن للحركة والجاذبية قوانين كبلر الثلاثة الخاصة بحركة الكواكب، ما يجعلها بشكلٍ ما أعمق وأقوى. أيضًا تفسر قوانين نيوتن للحركة قانون بويل للغازات حين تُطبَّق بطريقة إحصائية على مجموعة ضخمة من الجزيئات المتحركة حركة فوضوية.

خلال الأربعة قرون التي تلت اكتشاف أول قوانين للفيزياء ظهر المزيد والمزيد من القوانين للضوء، واكتُشف المزيد والمزيد من الروابط أيضًا. إن قوانين الكهرباء، على سبيل المثال، وُجِدَ أنها مرتبطة بقوانين المغناطيسية، التي بدورها فسرت قوانين الضوء. هذه العلاقات المتبادلة قادت إلى قدر معين من الارتباك بشأن أي القوانين تعد «أساسية» وأيها مشتق من الأخرى. بدأ علماء الفيزياء في الحديث عن القوانين «الجوهرية» والقوانين «الثانوية»، وما يعنيه ذلك ضمنًا من أن تلك الأخيرة كانت مشتقة لأغراض الملاءمة والتبسيط لا أكثر. في بعض الأحيان يطلق علماء الفيزياء على هذه القوانين اسم «القوانين الفعالة» لتمييزها عن غيرها من القوانين الأصلية

«الجوهرية»، تلك التي يمكن أن تندرج تحتها، على الأقل من ناحية المبدأ، القوانين الفعالة أو الثانوية. وفي هذا الجانب تختلف قوانين الفيزياء اختلافًا كبيرًا عن قوانين المجتمع المدني، التي هي خليط غير منظم من التشريعات المتوسعة دون حدود. كمثال متطرف على هذا الأمر سنجد أن قوانين الضرائب في أغلب البلاد تمتد لملايين الكلمات، لكن على النقيض من ذلك نجد أن «كتاب قواعد الطبيعة العظيم» (على الأقل كما نفهمه حاليًّا) يمكن أن تحتويه صفحة واحدة لا أكثر. إن عملية التبسيط وإعادة الترتيب، الممثلة في العثور على روابط بين القوانين وتقليلها إلى قوانين أكثر جوهرية، تجري بسرعة كبيرة، ومن المغري أن نفكر أنه، في جوهر الأمر كله، لا يوجد سوى حفنة من القوانين الجوهرية «الحقيقية»، بل قد يوجد قانون فائق واحد تُشتَق منه كافة القوانين الأخرى.

بما أن قوانين الفيزياء هي الأساس الذي يقوم عليه البحث العلمي بأسره، من المستغرب ألا تهتم سوى قلة من العلماء بمعرفة ما تعنيه هذه القوانين في الحقيقة. إذا تحدثت إلى علماء الفيزياء فستجد أن أغلبهم يتحدث عن هذه القوانين كما لو كانت أشياء حقيقية، ليست أجسامًا مادية بالطبع، بل علاقات مجردة بين كيانات مادية. إلا أن الأهم من ذلك هو أنها علاقات موجودة بالفعل «في مكان ما» من العالم، وليست فقط في عقولنا.

لأغراض الإيجاز لم أتوخ الحرص الشديد في مصطلحاتي، فإذا قلت لأحد علماء الفيزياء: «أرني قوانين الفيزياء» فسيحيلك إلى مجموعة من المراجع، عن الميكانيكا والجاذبية والكهرومغناطيسية والفيزياء النووية وغيرها. إلا أن السؤال الأكثر ملاءمة هو: هل القوانين الموجودة في الكتب هي بالفعل قوانين الفيزياء أم هي أفضل الاجتهادات بشأنها فقط؟ إن قلة نادرة من علماء الفيزياء هم من يزعمون أن القوانين الموجودة في الكتب اليوم هي في صورتها النهائية؛ إذ إن هذه القوانين على الأرجح هي أقرب ما توصلنا إليه عن القوانين الحقيقية فقط. إلا أن علماء الفيزياء يؤمنون بأنه مع تقدم العلم، ستلتقي القوانين الموجودة في الكتب في قانون واحد مطلق.[13]

(٧) هل القوانين حقيقية؟

هناك حقيقة كامنة في كل هذا، وسوف تصير لها أهمية كبيرة حين أناقش نشأة القوانين. بدأت فكرة القوانين كطريقة لنمذجة الأنماط الموجودة في الطبيعة التي

تربط الأحداث المادية. صار الفيزيائيون على ألفة كبيرة بالقوانين حتى إنه في مرحلة ما باتت القوانين نفسها، وليس الأحداث التي تصفها، ترقى لمرتبة الحقيقة. لقد صارت للقوانين حياة خاصة بها. من العسير على غير العلماء أن يدركوا أهمية هذه الخطوة، لكن من الممكن الاستعانة بمثال من عالم الماليات؛ إن المال الموجود في جيبك يعني عملات نقدية ورقية أو معدنية — أشياء مادية يمكن مبادلتها بالبضائع المادية أو الخدمات — ومع ذلك فإن المال بمفهومه المجرد صار له حياة خاصة به هو الآخر؛ فالمستثمرون يمكن أن يزيد حجم مالهم (أو ينقص في حالتي) حتى دون أن يشتروا أو يبيعوا أشياء مادية. على سبيل المثال، هناك قواعد تحكم تداول العملات المختلفة التي في أحسن الظروف مرتبطة بشكل واهٍ بعملية الشراء الفعلية التي تدور في المتجر المجاور لك. وفي حقيقة الأمر هناك «أموال» أكثر بكثير تدور حول العالم، أغلبها يدور في الفضاء الافتراضي للإنترنت، التي قد لا تتجسد قط على صورة عملات ورقية ومعدنية. وعلى نحو مشابه يقال إن قوانين الفيزياء تسكن عالمًا مجردًا ولا تمس الواقع المادي إلا حين «تعمل». الأمر يبدو كأن القوانين موجودة في حالة انتظار، مستعدة للسيطرة على أي عملية مادية وتجبرها على الانصياع لها، تمامًا مثل قوانين تحويل الأموال الموجودة «في مكانها» حتى حين لا يكون هناك أي تحويل فعلي للأموال. هذه النظرة «الافتراضية» لقوانين الفيزياء التي تقضي بأنها تملك السيطرة على الطبيعة لها منتقدوها (تحديدًا الفلاسفة الذين يفضلون النظرة «الوصفية»).[14] لكن أغلب علماء الفيزياء الذين يعملون على الموضوعات الجوهرية من أنصار الفكرة الأولى، حتى لو لم يقروا بهذا على نحو صريح.

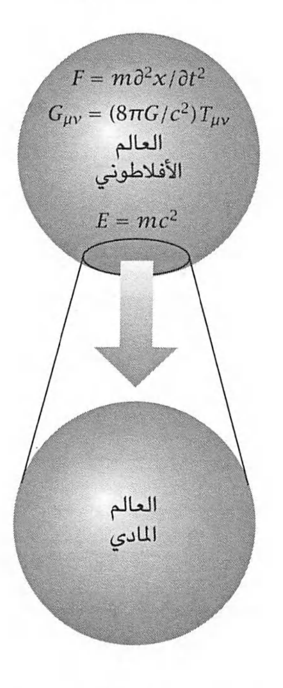
لدينا، إذن، هذه الصورة عن قوانين الفيزياء الموجودة بالفعل في حالة استكانة في مستقرها السامي، وتتحكم في الشئون الدنيا. أحد الأسباب وراء هذا النوع من التفكير بشأن القوانين يتعلق بدور الرياضيات؛ بدأت الأعداد كوسيلة لتصنيف الأشياء المادية وتسجيلها مثل الخَرَز أو الأغنام. ومع تطور علم الرياضيات، وتوسعه فيما وراء الحسابات البسيطة ليشمل الهندسة والجبر والتفاضل والتكامل وغيرها من الفروع، بدأت هذه الكيانات والعلاقات الرياضية في اكتساب وجود مستقل. يؤمن الرياضيون أن عبارات على غرار «٣ × ٥ = ١٥» و«العدد ١١ عدد أولي» هي حقائق فطرية — وذلك بمعنى مطلق عام — دون أن تكون مقصورة على «ثلاثة خراف» أو «إحدى عشرة خرزة».

تفكر أفلاطون في حالة الأجسام الرياضية واختار أن يضع الأعداد والأشكال الهندسية المثالية في عالم مجرد من الصور المثالية. في هذه السماء الأفلاطونية يمكن، مثلًا، العثور على الدوائر المثالية، في مقابل تلك الدوائر التي نقابلها في عالمنا الحقيقي، والتي ستظل دومًا مجرد أشكال تقريبية للدوائر المثالية. يؤمن العديد من علماء الرياضيات المعاصرين بفكر أفلاطون هذا (على الأقل في عطلاتهم الأسبوعية). وهم يؤمنون أن الأجسام الرياضية لها وجود حقيقي لكن ليس في هذا الكون المادي. يرى علماء الفيزياء النظرية، المتشربون بهذا التقليد الأفلاطوني، أيضًا أنه من الطبيعي وضع القوانين الرياضية للفيزياء في عالم أفلاطوني. يوضح الشكل رقم ١-٢ هذه الفكرة، وفي الفصل الأخير سألقي نظرة نقدية على طبيعة القوانين الفيزيائية وأتساءل عما إذا صارت وجهة نظر أفلاطون مجرد ولع غير مرحب به على سبيل فهم الأساس الرياضي للكون.

(٨) وداعًا فكرة التصميم؟

كانت الأديان أولى المحاولات المنهجية لتفسير الكون بصورة شاملة؛ إذ صورت العالم على أنه نتاج عقل أو عقول لكيانات فائقة يمكنها تنظيم الطبيعة أو الإخلال بتنظيمها وفق مشيئتها. في الهندوسية كان براهما هو الخالق وشيفا هو المدمر، وفي اليهودية نجد أن الرب يهوه هو الخالق والمدمر في الوقت ذاته، أما لدى السكان الأصليين في كيمبرلي بأستراليا كان هناك خالقان يعملان معًا في تآزر وهما والانجاندا، الكيان الفضائي الذكوري، الذي ينثر الماء على وانجود، الأفعى المغطاة بالهلام، كي يكونا اليورو يورو، العالم كما نراه.[15] في مثل هذه الأنظمة تُقبل الأشياء على ما هي عليه لأن الإله (أو الآلهة) أرادتها أن تكون على هذا النحو. كرَّست الأديان الكبرى قرونًا عديدة من الدراسة في محاولة لجعل هذه التفسيرات الدينية مقنعة ومتسقة. وحتى في أيامنا هذه يبني الملايين نظرتهم للعالم استنادًا على التفسيرات الدينية للطبيعة.

كان العلم هو ثاني محاولة عظمى لتفسير العالم، لكن في هذه المرة بُنيت التفسيرات على أساس القوى المجردة والعمليات الطبيعية الفيزيائية وليس أنشطة العناصر الفائقة ذات الأغراض. وحين تعارضت التفسيرات العلمية مع التفسيرات الدينية، كان النصر للتفسيرات العلمية. وفي الأغلب الأعم تراجع عمل علماء اللاهوت



شكل ١-٢: **أين تقع قوانين الفيزياء؟** آمن أفلاطون بأن الأجسام الرياضية موجودة بالفعل، وأنها لا تقع في عالم الموجودات المادي بل في عالم مجرد من الأشكال المثالية، يمكن لذوي الذكاء المتقد الولوج إليه. يميل الفيزيائيون النظريون، الذين يعبرون عن قوانين الفيزياء في صورة معادلات رياضية، لاتباع هذا التقليد، وهم يفضلون تصور قوانين الفيزياء على أنها ذات وجود حقيقي، لكنه يسمو فوق الواقع المادي.

كي يركز على الشئون الاجتماعية والأخلاقية، على غرار التنوير الروحي، مرتضين ترك عملية تفسير العالم المادي للعلماء. لا يزال هناك من يؤمنون بأن المطر تصنعه آلهة المطر لا نتاجًا لعمليات تتم في الغلاف الجوي، لكنني لا أعتقد أن لهم فرصة نجاح لو دخلوا في مناظرة مع أحد علماء الطقس. فحين يتعلق الأمر بالظواهر المادية الفعلية تكون للتفسيرات العلمية الغلبة. لا يعني هذا أن العلماء نجحوا في تفسير كل شيء، إذ تظل بعض الفجوات الكبيرة باقية؛ على سبيل المثال، لا يعرف العلماء كيف بدأت الحياة، وموضوع الوعي البشري يثير حيرتهم لأبعد حد، وحتى بعض الظواهر المألوفة بشدة، كالدوامات الهوائية، ليست مفهومة بالكامل بعد. بيد أن هذا لا يعني أن علينا اللجوء للسحر أو المعجزات من أجل غلق هذه الفجوات،

بل ما نحتاج إليه هو المزيد من التقدم في الفهم العلمي، وهذا هو الموضوع الذي سأناقشه بالتفصيل في الفصل العاشر.

عندما يتعلق الأمر بالأسئلة الميتافيزيقية على غرار: «لماذا توجد قوانين للطبيعة؟» يصير الموقف أقل وضوحًا، فهذه النوعية من الأسئلة لا تتأثر كثيرًا باكتشافات علمية محددة؛ إذ ظلت أسئلة عديدة كبيرة دون تغيير — منذ مولد الحضارة وإلى يومنا هذا — تثير حيرتنا. إن الأديان على اختلافها أتيحت لها مئات السنوات للتفكر في هذه الأسئلة بحرص، كما أن كبار رجال الدين، أمثال أنسِلم وتوما الإكويني، لم يكونوا أشخاصًا متدينين ضعاف عقول، بل كانوا عتاة مفكري عصورهم.

يعترف العديد من العلماء الذين يجاهدون من أجل الوصول إلى نظرية شاملة تامة للعالم المادي بصراحة بأن ما يحفزهم في مسعاهم هذا هو رغبتهم في نبذ فكرة التصميم — التي يرونها مضللة وخطيرة — نبذًا كليًّا. وهم يهدفون أيضًا للخلاص من أي أفكار جوفاء على غرار «المعنى» أو «الغرض» أو «التصميم». وهم لا يرضون بأي حل وسط، ويرون أن وجهة نظر العلم حيال العالم تتعارض تعارضًا لا يقبل المساومة مع وجهة نظر الدين. ويرون أن النصر حليفهم دون شك بفضل التفوق الفكري للعلم وطريقته المنهجية القوية.

لكن هل الأمر بهذه البساطة؟ حتى في عالم الأديان المنظم قد يعني مفهوم الإله أشياء متعددة لمختلف الأشخاص. من وجهة النظر المسيحية العامة، يصوَر الإله ببساطة على أنه القوة التي أوجدت العالم من العدم، وأنه يتدخل من وقت لآخر بالمعجزات كي يصلح المشكلات. مثل هذه النظرة قد تتعارض مع نظرة العلم للعالم. على النقيض من ذلك نجد أن تصور الإله لدى علماء اللاهوت المتنورين يقارب فكرة المصمم المعماري للكون، الذي يتجسد وجوده من خلال النظام المنطقي للكون، ذلك النظام الذي كشفه العلم. ومن الصعب على العلم أن يتحدى مثل هذه الفكرة عن الإله.

(٩) هل الكون بلا هدف؟

حتى الملحدون من العلماء سيتغنون بالحجم والجلال والتناغم والأناقة والبراعة المطلقة للكون، الذي لا يمثلون منه سوى جزء ضئيل هش. وبينما تتكشف أمام أعيننا تفاصيل الدراما الكونية، يظهر لنا أن هناك ما يشبه الـ «نَص» — خطة

للأمور — يسير تطور الكون وفقًا له. هنا نجد أنفسنا مدفوعين لأن نسأل: من الذي كتب هذا النص؟ أم هل يمكن أن يكون النص، بشكل إعجازي، هو الذي كتب نفسه؟ هل تم الانتهاء من كتابة النص الكوني العظيم بالفعل، أم هل هذه العملية لا تزال متواصلة مع مرور الوقت؟ هل هذه هي الدراما الوحيدة المعروضة أمامنا؟ أم أن كوننا ما هو إلا عرض واحد ضمن عروض كثيرة؟

إن حقيقة التزام الكون بنظام دقيق، وأنه ليس مجرد فوضى من الأحداث العشوائية، تدفعنا للتعجب، سواء تبنينا فكرة التصميم أم لا، عما إذا كان هناك نوع من المعنى أو الغرض له، إلا أن العديد من العلماء يسارعون بإبداء رفضهم عند أدنى إيحاء بذلك الأمر. يقول ريتشارد فاينمان، الذي يعد من أبرع الفيزيائيين النظريين في منتصف القرن العشرين: «إن فهمنا المتزايد لكيفية سلوك العالم المادي يقنعنا وحسب بأن هذا السلوك يتسم بعدم وجود معنى.»[16] يشاركه عالم الفيزياء النظرية والكونيات ستيفن واينبرج الرأي بقوله: «كلما صار العالم مفهومًا بشكل أكبر، بدا خاليًا من المعنى بشكل أكبر.»[17] تعرض واينبرج للنقد الحاد من جانب زملائه بسبب كلماته تلك، ليس لأنها تنكر أن للكون هدفًا، بل لمجرد الإيحاء بأنه قد يكون له هدف.

من المؤكد أن مفاهيم مثل المعنى والغرض هي تصنيفات وضعها البشر، وعلينا التزام الحذر حين نحاول إسقاطها على العالم المادي، إلا أن جميع محاولات وصف الكون وصفًا علميًّا تعتمد على المفاهيم الإنسانية؛ فالعلم يتقدم تحديدًا عن طريق أخذ المفاهيم التي فكر بها البشر، والمستقاة عادة من الخبرات اليومية، ثم تطبيقها على الطبيعة. إن ممارسة العلم تعني محاولة فهم ما يحدث حولنا في العالم، ما «سيتجه إليه» حال الكون، وما «معناه». وإذا لم يكن هناك «معنى» كامن وراءه فلن يكون هناك سبب وجيه يدعونا للبحث العلمي في المقام الأول؛ لأنه لن يكون لدينا أساس منطقي يدعونا للإيمان بأننا بهذه الطريقة يمكننا الكشف عن حقائق إضافية متسقة ذات معنى عن العالم. وعلى هذا يحق لنا قلب مقولة واينبرج ونقول إنه كلما بدا الكون خاليًا من المعنى صار مستعصيًا على الفهم بشكل أكبر. بالطبع من الممكن أن يكون العلماء واهمين في اعتقادهم بأنهم سيعثرون على حقائق منظمة متسقة في عمل الطبيعة؛ إذ قد نكون نحن من يحيك نسيجًا من الأناقة الفكرية المبهرة مما لا يعدو محض تفاهات. وفي نهاية المطاف، قد لا يكون هناك سبب على الإطلاق وراء كون الأشياء على النحو التي هي عليه. إلا أن هذا قد يجعل الكون

خدعة محبوكة بإحكام. هل يمكن لكون عبثي سخيف أن يحاكي بهذه البراعة كونًا ذا معنى؟ هذا هو أكبر أسئلة الوجود التي سنحاول مواجهتها ونحن نستمر في سعينا لاستيضاح حقائق الحياة والكون وكل شيء.

النقاط الأساسية

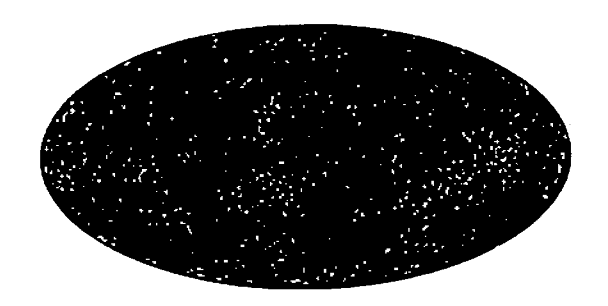
- يهدف العلم الآن للإجابة على العديد من أسئلة الوجود الكبرى.
- من الأسئلة الكبيرة ذلك السؤال الخاص بملاءمة الكون للحياة؛ إذ يبدو وكأن هذا «أمر مقصود».
- يطيع الكون القوانين الرياضية؛ فهي مثل النص الذي تسير وفقه الطبيعة. كي تتفهم هذا الكتاب على النحو الأمثل يجب أن تقتنع بهذه الفكرة.
- قوانين الفيزياء الرياضية هي أساس كل شيء. يرى كثير من علماء الفيزياء أنها حقيقية وأنها تسكن عالمًا أفلاطونيًّا ساميًا.
- يكشف لنا العلم عن وجود نظام متسق للأشياء، إلا أن العلماء لا يفسرون ذلك بالضرورة على أنه دليل على وجود مغزى للكون. أغلب العلماء، لكن ليس جميعهم، إما ملحدون أو لاأدريون.
- من المفترض بي، بصورة ما، أن أشرح كل هذا.

الفصل الثاني

تفسير الكون

(١) الانفجار العظيم والكون المتمدد

من الحكايات المأثورة في جامعة كامبريدج أن عالم الفيزياء النووية إرنست رذرفورد يقال إنه حض أتباعه على نبذ أي تأمل خيالي أو مبالغ فيه حين حذرهم بقوله: «لا تدعوني أمسك بأحدكم وهو يتحدث عن الكون في قسمي.» كان هذا في ثلاثينيات القرن العشرين، وإنصافًا لرذرفورد، لم يكن علم الكونيات موجودًا بعد كعلم له مكانة. وحتى حين كنت أدرس بالجامعة في لندن في الستينيات كان الساخرون يتهكمون بقولهم إن علم الكونيات ليس إلا تخمينًا في تخمين. إلا أنه منذ ذلك الوقت غَيَّرَ التطور الكبير في تصميم التلسكوبات ومعالجة البيانات واستخدام الأقمار الصناعية من وجه علم الكونيات تغييرًا كليًّا. بلغت هذه الفترة من التطور السريع ذروتها في الحادي عشر من فبراير/شباط عام ٢٠٠٣ حين حملت صحف العالم صورة بيضاوية عجيبة الشكل تشبه إحدى لوحات الرسام التجريدي جاكسون بولاك. قدمت لنا هذه الصورة التي لا تثير الإبهار نافذة على الكون لم يسبق لها مثيل، وأدخلت علم الكونيات — دراسة أصل الكون وتطوره ومصيره من المنظور الأعظم للزمان والمكان — إلى القرن الحادي والعشرين. أخيرًا نضج هذا المبحث حتى صار علمًا كميًّا لائقًا. لخصت هذه الصورة النتائج المبدئية الآتية من القمر الصناعي المسمى بمسبار ويلكنسون لقياس اختلاف الموجات الميكرونية Wilkinson Microwave Anisotropy Probe، والمعروف اختصارًا بالأحرف WMAP. وظيفة هذا المسبار هي رسم خريطة للسماء، لا باستخدام الضوء، بل الحرارة؛ أي إنه ينتج خريطة حرارية للكون مفصلة تفصيلًا غير مسبوق. إن الملامح المطبوعة على هذه الصورة هي بقايا عملية مولد الكون، التي حدثت منذ أكثر من ١٣ مليار عام (انظر الشكل ٢-١).



شكل ٢-١: التوهج المتبقي بعد التكون. هذه الخريطة الحرارية للسماء والمرسومة من واقع ترددات الموجات الميكروية المقاسة بواسطة المسبار WMAP تقدم لمحة عن الكون بعد حوالي ٣٨٠٠٠٠ عام من الانفجار العظيم. تمثل البقع والنقاط تنويعات طفيفة في درجة الحرارة مطبوعة في الإشعاع حدثت بسبب تفاوت كثافة في الكون المبكر. بدراسة تفاصيل هذه التنويعات يستطيع علماء الكونيات معرفة الكثير عن أصل الكون وتاريخه والمصير المحتمل له، إضافة إلى بنيته وهندسته. المناطق فائقة الكثافة، الممثلة بالبقع الأفتح لونًا، هي «البذور» التي تكونت حولها المجرات. الصورة المعروضة هنا مبنية على بيانات منقحة نشرت في مارس/آذار عام ٢٠٠٦. (بإذن من ناسا/فريق عمل WMAP.)

لم يكن بالإمكان وجود علم للكونيات ما لم يكن هناك «كون» يحتاج للتفسير. وبدلًا من اعتبار الفضاء مليئًا بأجسام متناثرة عديمة القيمة يرى علماء الفلك في الكون وحدة متسقة منظمة. وعلى المستوى الأكبر يتسم الكون بالتنظيم والتطابق؛ فالنجوم والمجرات التي تبعد عنا مليارات السنوات الضوئية تشبه بشدة تلك القريبة منا وموزعة بنفس الصورة تقريبًا في كل مكان، وجميعها تتشابه في بنيتها وحركتها. كما يبدو أن قوانين الفيزياء واحدة حتى في أقصى مكان من الفضاء يمكن لأجهزتنا الوصول إليه. باختصار، هناك نظام كلي متناغم، لا فوضى. وهذه الحقيقة الأساسية مهمة للغاية لوجودنا؛ إذ إنه لم يكن يمكن للحياة أن تنشأ، ناهيك عن أن تتطور إلى مرحلة الذكاء، وسط الفوضى. أيضًا تثير هذه الحقيقة سؤالًا مربكًا، أو هكذا فعلت حتى وقت قريب: لماذا ينبغي على الكون إجمالًا أن يكون على هذا القدر من التنظيم؟ للإجابة على هذا السؤال المثير للاهتمام، علينا أن نفهم كيف بدأ الكون، وكيف تطور عبر مليارات السنين حتى وصل إلى شكله المنظم الحالي المشجع على الحياة.

حين تفكر أسلافنا في السماء تخيلوا أن الشمس والقمر والنجوم تدور حول الأرض. لم يكن حجم الكون معروفًا. وحتى اختراع التلسكوب فشل في الكشف

عن الحجم الحقيقي الهائل للكون، وحتى وقت قريب لم يكن بمقدور علماء الفلك تحديد الأرقام التي يمكن بها قياس هذا الحجم. إن شمسنا واحدة من مئات المليارات من النجوم التي تؤلف مجرة درب التبانة، ومجرة درب التبانة بدورها ما هي إلا واحدة من مئات المليارات من المجرات المتناثرة في أرجاء الفضاء إلى حدود ما تدركه معداتنا. إن الفجوات بين النجوم شاسعة للغاية حتى إن علماء الفلك يقيسونها بالسنوات الضوئية، والمقصود بها المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة. يبلغ طول السنة الضوئية حوالي ستة تريليون ميل، أو ١٠ تريليون كيلومتر. لتصور الأمر تصورًا أفضل نقول إن القمر يبعد عن الأرض حوالي ثانية ضوئية واحدة، وتبعد الشمس عن الأرض أكثر من ثماني دقائق ضوئية بقليل. يبلغ عرض مجرة درب التبانة، التي تعد من المجرات اللولبية التقليدية، حوالي ١٠٠ ألف سنة ضوئية، وتقع مجرة أندروميدا، الجارة القريبة لمجرة درب التبانة، على بعد ٢,٥ مليون سنة ضوئية منها، فيما تقع أبعد المجرات التي صورها تلسكوب الفضاء هابل على بعد يزيد عن ١٠ مليارات سنة ضوئية. من وجهة نظر البشر الكون شاسع بشكل لا يمكن تخيله.

رغم أن نتائج المسبار WMAP تعد علامة على وصول علم الكونيات لسن الرشد، فإن ميلاد هذا الفرع يعود إلى ثمانين عامًا سابقة، إلى وقت العمل الفذ الذي قام به المحامي الذي تحول لدراسة الفلك إدوين هابل. يُنسب فضل اكتشاف حقيقة تمدد الكون لهابل، مع أن العديد من المشاهدات تمت على يد مساعده فيستو سليفر. درس هابل وسليفر الضوء القادم من المجرات ووجدا أن المجرات الأبعد كانت ذات لون أكثر حمرة. كان من المعروف وقتها أن موجات الضوء الصادرة عن مصدر آخذ في الابتعاد ستكون أكثر تمددًا ومن ثم تنحرف صوب اللون الأحمر الواقع على طرف طيف الضوء (وعلى العكس ينحرف الضوء الصادر عن مصدر آخذ في الاقتراب صوب اللون الأزرق). وجد هابل وسليفر أن هذه الإزاحة نحو اللون الأحمر تزداد كلما بعد موقع المجرة عنا، وأن هذا يحدث بنفس الصورة في جميع الاتجاهات. إن أبسط تفسير لهذه الحقائق، والتفسير الذي أعلنه هابل على العالم، هو أن المجرات تبتعد عنا بنمط تمدد منتظم.

من البديهي إذن — ما دام الكون يتمدد الآن — أن يكون أكثر انضغاطًا في الماضي. باستخدام معدل التمدد المقاس يصير من السهل عرض هذا الفيلم الكوني إلى الخلف (كتدريب نظري!) ومعرفة أنه، منذ مليارات عديدة من السنين، كانت

كل المجرات مضغوطة في مكان واحد. يعني هذا أن الكون، على الأقل بالشكل الذي نعرفه، بدأ بانفجار هائل من حالة ساكنة فائقة الكثافة، وهو الحدث المعروف باسم الانفجار العظيم Big Bang. العجيب أن هذه التسمية أطلقت في البداية بغرض السخرية في الخمسينيات من جانب فريد هويل، الذي لم يقبل قط بهذه النظرية. أما اليوم، مع وجود أدوات المراقبة الدقيقة، على غرار المسبار WMAP وتلسكوب الفضاء هابل، فيمكننا تحديد الوقت الذي وقع فيه هذا الانفجار العظيم، وأفضل تقدير حالي لهذا الوقت هو منذ ١٣٫٧ مليار عام مضت. وبغرض المقارنة نذكر بأن عمر كوكب الأرض هو ٤٫٥٦ مليار عام.

(٢) الوهج المتبقي لمولد التكون

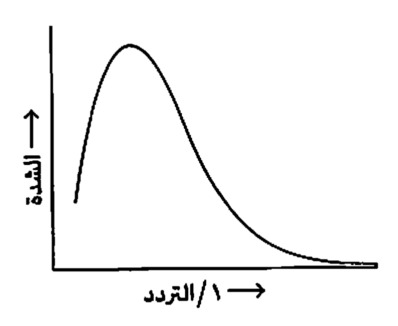
إذا كان الكون في وقتٍ ما ذا كثافة عالية فمن المؤكد أنه كان شديد الحرارة أيضًا؛ نظرًا لأن المواد ترتفع حرارتها عند الضغط وتبرد عند التمدد. لكن المادة ذات الحرارة العالية تطلق إشعاعًا حراريًّا (فكر في الحرارة المنبعثة من الشمس أو الجمر المتقد)، وعلى هذا يمكننا أن نتوقع من الحرارة المتخلفة عن مولد الكون أن تغمر الفضاء في وقتنا الحالي على صورة وهج إشعاعي طفيف. وهذا هو الحال بالفعل. في عام ١٩٦٧ اثنان من مهندسي اللاسلكي — وهما أرنو بينزياس وروبرت ويلسون، اللذان كانا يعملان على اتصالات الأقمار الصناعية في معامل بيل في الولايات المتحدة — عثرا بالصدفة على إشعاع قادم من الفضاء سرعان ما تم التعرف عليه بوصفه أثرًا متبقيًا للانفجار العظيم. كان هذا الاكتشاف نقطة تحول جعلت العلماء ينتبهون لأهمية نظرية الانفجار العظيم. إن هذا الإشعاع موزع بشكل متساو عبر السماء في درجة حرارة[1] تبلغ ٢٫٧٢٥ كلفن، أي حوالي سالب ٢٧٠ مئوية، لذا لا تتوقع أن ترى السماء وهي تتوهج بضوء أحمر باهت. الإشعاع في درجة حرارة كهذه يقع بالأساس في منطقة الموجات الميكرونية على مدرج الطيف الكهرومغناطيسي، ولهذا تُعرف الحرارة المنبعثة من الانفجار العظيم بإشعاع الخلفية الميكروني الكوني Cosmic Microwave Background Radiation، الذي يعرف اختصارًا بإشعاع الخلفية (CMB).

مع أنه من العسير تخيل ما الذي يمكن له، خلافًا لانفجار كوني، أن يُنْتِج إشعاعَ الخلفية هذا، فإن الدليل الدامغ على حدوث الانفجار العظيم ظهر حين

تمكن علماء الفلك من قياس الطيف الدقيق لهذا الإشعاع (انظر الشكل ٢-٢).
إذا نظرت إلى جسم متوهج، كشعلة لهب أو نجم، فسترى أنها تطلق الطاقة عبر نطاق من الألوان، أو الأطوال الموجية. وإذا رسمت هذا التوزيع على شكل بياني فستحصل على طيف لها. إن طيف الضوء أو الحرارة المنبعثة من الشمس، أو لهب الشمعة، معقد للغاية، إذ يمتلئ بالقمم والقيعان على الرسم البياني. إلا أن الطيف الخاص بنوع معين من الإشعاع الحراري له شكل بسيط مميز عام؛ ذلك الصادر عن فرن وصلت حرارته الداخلية إلى درجة متجانسة تجانسًا دقيقًا. يطلق علماء الفيزياء على هذا اسم طيف الجسم الأسود، لأن الجسم الذي لا يعكس أي موجات ضوء قط (والذي سيبدو أسود اللون في درجات الحرارة المنخفضة) سيشع الحرارة بهذا التوزيع الخاص من الطاقة عبر مختلف الأطوال الموجية. وعلى وجه الخصوص يملك إشعاع الخلفية طيف الجسم الأسود هذا، وهو ما أكدته مشاهدات المسبار WMAP وغيره من أدوات المراقبة. وفي الحقيقة، يعد إشعاع الخلفية أفضل مثال على طيف الجسم الأسود في العلوم؛ لأن تصنيع جسم أسود على كوكب الأرض، وتوصيله لدرجة حرارة متساوية متجانسة يعد أمرًا مستحيلًا. وبما أن طيف الجسم الأسود يُنتَج من خلال نظام في حالة من التوازن الديناميكي الحراري،[2] يصير معنى إشعاع الخلفية جليًّا: أن مادة الكون المبكر لا بد أنها موزعة بالتساوي عبر الفضاء بنفس الكثافة ودرجة الحرارة في كل مكان. كان طيف الجسم الأسود هو الدليل الدامغ على أن الكون بدأ في حالة من الحرارة والكثافة والتجانس، ومن هذه الحالة تمدد وبرد حتى وصل إلى حالته الحالية.

لقد تغافلت عن جزء مهم من القصة؛ بما أن كوكبنا يدور حول الشمس، والشمس بدورها تدور حول المجرة، والمجرة تسبح وسط جيرانها، فإن الأرض تندفع عبر إشعاع الخلفية بسرعة تبلغ حوالي ٦٠٠ كيلومتر في الثانية. وبسبب هذه الحركة النسبية تبدو السماء أكثر حمرة في الاتجاه الذي نتحرك صوبه عما هو الحال عليه في الجانب المقابل من السماء. لكن عند إسقاط هذا التأثير نجد أن الإشعاع يصير متجانسًا. ولحوالي جزء من كل ١٠٠ ألف جزء، لا يوجد تباين في الإشعاع عبر السماء.

إلا أن علماء الكونيات كانوا يعرفون طوال الوقت أنه ليس بالإمكان أن يكون إشعاع الخلفية موزعًا بتجانس «تام» عبر الكون كله، وذلك لأن الكون نفسه ليس موزعًا بتجانس تام؛ فالمادة تتجمع على صورة مجرات، والمجرات بدورها مرتبة على



شكل ٢-٢: طيف الجسم الأسود. يبين المنحنى، المبني على القياسات المأخوذة من المسبار WMAP كيف أن الطاقة الحرارية المتخلفة عن الانفجار العظيم موزعة عبر نطاق من الأطوال الموجية. شكل هذا المنحنى مميز، ويماثل تمامًا طيف الإشعاع الناتج عن نظام له درجة حرارة متماثلة. هذا يعني أن إشعاع الخلفية الكوني نشأ من حالة من التوازن الديناميكي الحراري في الماضي. تتناسب المشاهدات مع النظرية تناسبًا دقيقًا حتى إن أخطاء القياس أصغر من سمك الخط المرسوم في الشكل. (بإذن من ناسا.)

صورة عناقيد مَجَرّية وعناقيد مجرية فائقة. تكشف لنا خرائط توزيع المجرات، التي وضعها بعناء علماء الفلك مستخدمين التلسكوبات البصرية عبر العشرين عامًا الماضية، عن وجود تكتلات من جميع الأحجام، ربما باستثناء الهائلة منها. وعند أخذ متوسط لكل مليار سنة ضوئية يبدو الكون متماثلًا في كل مكان، لكن على نطاق كل مائة مليون سنة ضوئية أو أقل يكون الأمر مختلفًا؛ إذ تبرز تجمعات للمجرات بشكل واضح. إذا كان الكون المبكر مكونًا من غاز موزع بتساوٍ تام، فلم يكن بالإمكان ظهور مثل هذه التركيبة. لكن مع الوقت، حتى أصغر مواطن الشذوذ في الغاز الأصلي كانت ستتضخم تضخمًا هائلًا بفعل تأثير الجاذبية. إن أي منطقة كانت أكثر كثافة — ولو بشكل ضئيل في بداية الكون — كانت ستجذب إليها المادة من المناطق المجاورة لها، وبهذا تزيد من كتلتها بشكل أكبر، وتسرع من عملية تعاظمها. كان من شأن الانفجار الداخلي البطيء للغازات الأولية إلى كتل أن يتحول إلى انهيار كارثي لولا حقيقة أن الكون يتمدد، وهو ما يعمل على تخفيف الغاز ويعادل آثار الميل نحو التجمع. تشير الحسابات التي أجريت على هذه الآثار المتعارضة إلى أنه من أجل تكوين مجرات موزعة على النحو الذي نرصده، لا بد أن يكون الكون قد بدأ بتفاوت في الكثافة يبلغ جزءًا واحدًا في كل ١٠٠ ألف جزء. ولأن الغاز الأكثر كثافة يكون مضغوطًا بشكل أكبر تكون حرارته

أعلى، وبهذا يُترجم التفاوت في الكثافة إلى تفاوت في درجة الحرارة. وعلى هذا، إذا صحت نظرية الانفجار العظيم فلا بد أن يكون تفاوت الحرارة في الكون المبكر طفيفًا للغاية، وهو بالضبط ما وجده المسبار WMAP.

وعلى هذا تصير القصة على النحو الآتي: بدأ الكون منذ حوالي ١٣٫٧ مليار عام بانفجار عظيم. كان الكون في بداياته غازًا متمددًا يتسم بارتفاع هائل في الكثافة، ودرجة الحرارة، والتأين،[3] والإعتام، ومغمور بالإشعاع الحراري. توزع الغاز في أرجاء الكون بتجانس شبه مثالي. بعد الانفجار العظيم بحوالي ٣٨٠ ألف عام هدأت حرارة الكون بمقدار بضع آلاف من الدرجات، وعند هذه النقطة توقف الغاز عن التأين (أي إن النويات والإلكترونات اتحدت لتصير ذرات) ونتيجة لذلك صار شفافًا. ومنذ ذلك الحين فصاعدًا ظل الإشعاع الحراري غير متأثر بمروره عبر المادة، ومنذئذٍ وهو يسافر بحرية في أرجاء الكون.[4] لذا، حين ينظر علماء الفلك إلى إشعاع الخلفية فهم في واقع الأمر ينظرون إلى الكون بعد حدوث الانفجار العظيم بحوالي ٣٨٠ ألف عام. وبناء على ذلك يمدنا إشعاع الخلفية بلمحة عن الكون حين كان عمره أقل من ٠٫٠٠٣ بالمائة من عمره الحالي. إن التفاوتات الدقيقة في درجات الحرارة التي اكتشفها المسبار WMAP تمثل بذور البنية الكونية التي من دونها لم تكن ستوجد المجرات أو النجوم أو الكواكب أو حتى علماء الفلك. هذه إذن حقيقة أخرى من الحقائق «الملائمة» التي تجعل الكون مناسبًا لظهور الحياة، وحقيقة أخرى تحتاج لتفسير.

(٣) أين يقع مركز الكون؟

من التوصيفات الشائعة للانفجار العظيم أنه تفجير لكرة مصمتة من المادة الموجودة في حيز من الفراغ، مع تشبيه المجرات بالشظايا المتناثرة بعيدًا عن مركز الانفجار. ربما تكون هذه الصورة سهلة الفهم، إلا أنها مضللة ومحيرة بدرجة كبيرة؛ إذ إنه من المحتم أن ينتهي الناس إلى التساؤل: «أين يقع مركز الكون؟» تحمل رسالة البريد الإلكتروني التالية التي وصلتني حديثًا نفس هذه الفكرة المألوفة:

> هل تم التوصل إلى الدليل على تمدد الكون من خلال النظر بعيدًا عن مركز التمدد (الانفجار العظيم) أم بالنظر إلى المركز، أم من أي اتجاه

آخر؟ أعتقد أن النتائج قد تبين أن المجرات تبتعد عن مركز التمدد وبعضها يبتعد عن بعض بسرعات متباينة.[5]

إذا كان الانفجار العظيم هو انفجار لكرة من المادة، ستقع إذن بعض المجرات في أعماق ذلك المعترك، محاطة من جميع الجوانب، وستقع أخرى بالقرب من طرف هذا الحشد. لو افترضنا حدوث ذلك، وتصورنا المشهد من جانب مجرة قُذف بها بعيدًا سنجد أننا من أحد الجوانب سنواجه مركز الكون، وعلى الجانب المقابل سنواجه الفضاء الخاوي. ستبدو السماء متباينة الشكل بدرجة كبيرة اعتمادًا على الجهة التي ينظر ناحيتها المراقب. إلا أن هذا بكل تأكيد ليس ما نراه من كوكب الأرض؛ إذ يبدو الكون بنفس الصورة تمامًا من مختلف الاتجاهات. وبالقدر الذي تستطيع تلسكوباتنا الوصول إليه، والبالغ حوالي ١٢ مليار سنة ضوئية، أي ما يغطي حوالي ١٠٠ مليار مجرة، تتوزع المادة بشكل متساو (أو على نحو أكثر دقة تتوزع عناقيد المجرات على نحو متساو). لا يوجد دليل على أي تجمع حول ما يشبه المركز أو، على النقيض، أي ضعف في الكثافة ناحية طرف ما.

كيف، إذن، ينبغي علينا وصف الانفجار العظيم والكون المتمدد، في ضوء الحقائق التي حصلنا عليها من مشاهداتنا؟ افترض أن الكون تجمد على النحو الذي هو عليه اليوم، مع توزع المجرات بشكل متساو عبر الفضاء (في المتوسط). والآن تخيل أننا بدأنا في عرض الفيلم الكوني، مشاهدين الكون وهو يتمدد. إذا نظرنا للكون من منظور خارجي فلن نجد أي انسياب منظم للمجرات بعيدًا عن أي نقطة بعينها، بل سنجد أن عناقيد المجرات تبتعد بعضها عن بعض بنفس المعدل. وفي كل مكان تنظر إليه ستجد أن الفجوات بين عناقيد المجرات تزداد في الحجم، وأن المزيد والمزيد من الفضاء يحيط بالمجرات مع مرور الوقت. قد يبدو للمراقب الموجود في أي مجرة أنه يقع في مركز نمط معين من التمدد؛ لأن جميع المجرات الأخرى تبتعد عنه، إلا أنها تبتعد أيضًا بعضها عن بعض، ولهذا يكون انطباع المراقب بأنه يقع في مركز الكون ليس إلا وهمًا. لا يوجد مركز للكون من الأساس. ولهذا السبب ربما تعد مصطلحات «الانفجار» و«الانفجار العظيم» غير ملائمة، إلا أننا ملتزمون باستخدامها في الوقت الراهن.

يؤكد إشعاع الخلفية فكرة عدم وجود المركز أو الحواف هذه، فإذا حدث الانفجار الكبير في أي نقطة من الفضاء فسيتوهج هذا الجزء من السماء بفعل

الإشعاع المبدئي، لكن الجزء الآخر من السماء الذي يواجه الجانب المعاكس من المركز ناحية الفراغ، سيكون باردًا. إلا أن الواقع، كما شرحت، هو أن إشعاع الخلفية ثابت ومتسق عبر السماء، مع معادلة أي تفاوت بسيط في درجة الحرارة، وعليه لا يوجد ما يشير إلى أن جزءًا ما من السماء كان أكثر حرارة من الجزء المقابل له.

(٤) الفضاء المتمدد

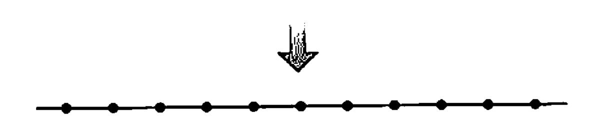
عانى علماء الكونيات كثيرًا كي يجدوا الطريقة التي يصفون بها الكون المتمدد بلغة بسيطة. وإليك بعض المحاولات الشائعة:

> الفضاء «موجود في» الكون وليس الكون هو الموجود في الفضاء.
> حدث الانفجار العظيم في كل مكان، وليس في نقطة محددة في الفضاء.
> كان الانفجار العظيم انفجارًا «للفضاء»، لا انفجارًا «في» الفضاء.

يمكن الاستعانة بتشبيه بسيط كي يساعدنا على الفهم وذلك بتخيل خيط طويل من المطاط مربوط به بعض الخرز على مسافات منتظمة (انظر الشكل ٢-٣). حين يتمدد الخيط، تبتعد الخرزات بعضها عن بعض. وحين يزداد ابتعاد كل خرزة عن جارتها سيكون المنظر من كل خرزة هو أن الخرزات الأخرى تبتعد عنها. إلا أن كل الخرز متساوٍ، ولا توجد خرزة مركزية.

سيكون التشبيه أفضل لو تخيلنا الفضاء نفسه على أنه مرن وقادر على التمدد. في حقيقة الأمر إن فكرة كون الفضاء مرنًا ليست تشبيهًا بليغًا فقط، بل هي تُقارب ما يعتقد علماء الفيزياء أنه الحقيقة بالفعل. إن قابلية الفضاء للتمدد، إضافة إلى الانحناء والطي، هي الأساس الذي بنيت عليه نظرية النسبية العامة لأينشتاين. وإذا نظرنا للفضاء على هذا النحو فسنجد أن تمدد الفضاء لا يعني بالأساس تحرك المجرات عبر الفضاء بقدر ما هو تمدد أو تضخم للفضاء بينها، وهي الصورة التي تقودنا لوصف آخر شهير:

> يشبه الكون المتمدد الرغيف الذي ينتفخ وهو موضوع في الفرن، حيث تلعب حبات الزبيب دور المجرات بينما يمثل العجين الفضاء.



شكل ٢-٣: الكون المتمدد. في هذا التمثيل أحادي البُعد، يشبَّه الكون المتمدد بخيط مطاطي (يرمز للفضاء) مربوط فيه خرزات (تمثل المجرات) على مسافات متساوية. مع تمدد الخيط، تبتعد كل خرزة عن الخرزات الأخرى، ويكون المشهد من منظور أي خرزة واحدًا؛ إذ تبتعد عنها الخرزات الأخرى بسرعات تتناسب مع المسافة بينها. وما دمنا نعجز عن رؤية أي من طرفي الخيط، تبدو جميع الخرزات متساوية؛ فلا يوجد مركز أو طرف ظاهر من خلال توزيع الحركة أو نمطها.

سيلاحظ القارئ اليقظ خطأ في تشبيه الخيط المطاطي؛ لأن الخطوط المطاطية الحقيقية ذات طول محدد، لذا من المحتم أن تكون هناك خرزات في الطرف وأخرى قرب المركز. إلا أن المغزى هنا هو أنه لو كانت الخرزات وفيرة العدد على نحو هائل (لنقل مليارات ومليارات) وإذا كانت الرؤية من أي خرزة لا تصل لنهاية الخيط، عندئذٍ لن يكون هناك ما يشير إلى مركز أو طرف في ترتيب الخرزات وسط جيرانها. لكن هذا الخطأ يثير السؤال البديهي عما إذا كان، في الكون الحقيقي، السبب في عدم وجود مركز أو طرف ظاهر هو أن تلسكوباتنا ليست قوية بما يكفي لكي تصل لهذا البُعد. وقد يكون هذا هو الواقع بالفعل. فربما يكون الكون القابل للرصد مدفونًا تحت كومة من المجرات التي، إذا نُظر إليها من منظور أعم، لها طرف نهائي بالفعل. (وقد لا يكون له مركز واضح، إلا إذا كان تجمع المجرات هذا على شكل كروي.) وإذا كان الطرف بعيدًا للغاية فلن يكون عدم تكافؤ توزيع الإشعاع الحراري ظاهرًا؛ لأنه لن يكون قد مضى وقت كاف منذ الانفجار العظيم كي يصل إلينا الإشعاع الحراري المتضائل، الذي يسافر بسرعة الضوء، من طرف الكون.

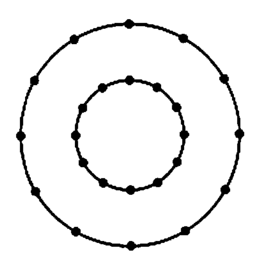
من ناحية أخرى قد لا يبدو الكون بهذا الشكل على الإطلاق؛ إذ قد يكون غير محدود من جميع الاتجاهات. أذكر جيدًا، حين كنت في الثامنة من عمري تقريبًا، أنني سألت والدي عن أين ينتهي الفضاء. أجابني والدي بأنه من غير الممكن أن يكون للفضاء نهاية، لأنه لو كان له نهاية فسيثير هذا التساؤل عما يقع وراء أبعد نقطة فيه. هذا سبب معروف، لكن كما سأشرح قد يكون خاطئًا. في حقيقة

الأمر، لا يوجد سبب منطقي يمنع الفضاء من أن يكون غير محدود ومسكونًا بالمجرات في كل مكان فيه. سيحوي الفضاء وقتها عددًا لامتناهيًا من المجرات، الموزعة توزيعًا متساويًا على صورة تجمعات — كما رأينا — تتمدد عبر الفضاء اللامتناهي إلى ما لا نهاية. وفي هذه الحالة تكون أبسط الافتراضات وأكثرها بداهة أن مشهد الكون سيكون واحدًا، من أي مكان. وفي المناقشات المعنية ببنية الكون يشار لافتراض الاتساق هذا باسم «المبدأ الكوني». وهذا المبدأ تطبيق لمبدأ آخر أكثر عمومية يسمى «مبدأ عدم التميز»، الذي يعني أنه لا يوجد شيء مميز أو سمة خاصة يتفرد بها موقعنا في الكون.

ومع أن هذا قد يربكك، فإنه يجب أن أقول إن المبدأ الكوني لا يعني بالضرورة وجود كون لانهائي؛ فمن الممكن أن يكون الكون محدد الحجم دون أن يكون له مركز أو طرف. يمكن امتلاك هذه السمات المتناقضة من الظاهر إذا تخيلنا أن الفضاء يمكن أن ينحني حول ذاته. سأشرح هذه الفكرة بالعودة لمثال الشريط المطاطي: افترض أن الشريط كان في حقيقته شريطًا مطاطيًّا دائريًّا عملاقًا، يمتد لقطر أكبر وأكبر (انظر الشكل ٢-٤)، والخرزات مربوطة به على مسافات متساوية. لا توجد هنا أي خرزة مركزية أو أخرى تقع قرب الطرف، بل جميع الخرزات متساوية بشكل تام، ومع ذلك تتحرك جميع الخرزات بعيدًا بعضها عن بعض مع تمدد الشريط المطاطي. هذا مثال على كون متناهٍ غير محدود في الوقت ذاته من الخرزات، والذي يصير ممكنًا لو سمحنا «للفضاء» المطاطي بأن ينغلق على نفسه على شكل دائرة. بعد قليل سأشرح كيف يمكن للفضاء الحقيقي ثلاثي الأبعاد أن يكون منغلقًا بهذا الشكل. لكن هناك موضوعًا أكثر أهمية يحتاج للشرح أولًا:

(٥) سرعة الضوء والمشهد من كوكب الأرض

حين يمعن علماء الفلك النظر في السماء بتلسكوباتهم فهم يرون الأجرام البعيدة لا كما هي عليه الآن، بل كما كانت عليه حين غادرها الضوء الذي يصل إلى تلسكوباتهم عابرًا الفضاء. ومن هذا المنطلق يكون التلسكوب «نافذة زمنية». على سبيل المثال، إذا انفجر نجم قريب منا بالأمس فسنظل غير عالمين بتلك الكارثة لسنوات؛ حتى يصل إلينا الضوء الذي يعرفنا بانفجار النجم إلى كوكب الأرض.



شكل ٢-٤: الفضاء المغلق. من الممكن للفضاء ثلاثي الأبعاد أن يكون مغلقًا. يبين تشبيه الشريط المطاطي أحادي البعد هذا سمة انغلاق الفضاء، دون وجود مركز أو طرف (بمعنى عدم وجود مركز أو طرف في أي مكان من الشريط). ومع تمدد «الكون» يتمدد الشريط المطاطي إلى قطر أكبر، دون الإخلال بخاصية عدم وجود المركز أو الطرف.

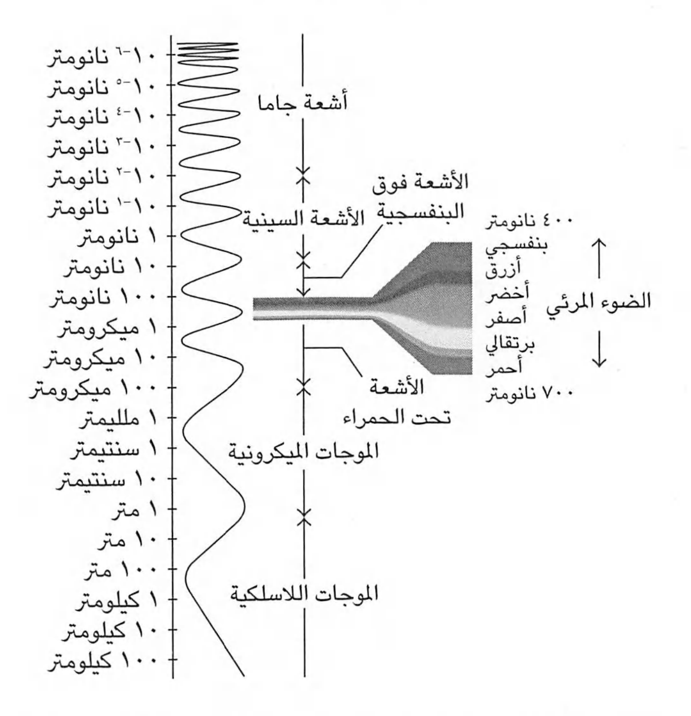
بالنظر أبعد من ذلك، فإننا نرى النجوم الموجودة في مجرة أندروميدا كما كانت عليه منذ ٢,٥ مليون عام. وبالتبعية تبدو المجرات الأبعد أكبر عمرًا. يسجل تلسكوب الفضاء هابل بطريقة روتينية صور المجرات كما كانت عليه قبل حتى تواجد كوكب الأرض. ومن الممكن بالفعل رؤية أكبر المجرات عمرًا وهي لا تزال في مرحلة التكون، أي منذ أكثر من ١٢ مليار عام مضت. وهكذا، بالتوغل أكثر وأكثر في الفضاء، يستطيع علماء الفلك مشاهدة تاريخ الكون وهو يمضي بشكل عكسي. قد تكون سرعة الضوء كبيرة، إلا أنها في نهاية المطاف محدودة، وهي حقيقة لها تبعات مهمة للغاية على طبيعة الكون، كما سنرى الآن.

بينما يجتاز الضوء الكون المتمدد يزيد الطول الموجي له مع تمدد الكون. ولأن أطوال الضوء الموجية الكبيرة تبدو أكثر احمرارًا، يشار لهذا التأثير باسم «الإزاحة الحمراء» Red Shift. إن حقيقة ظهور المجرات الأبعد بلون أكثر حمرة من المجرات الأقرب هي التي نبهت إدوين هابل في عشرينيات القرن العشرين لفكرة تمدد الكون. وهو نفس التأثير الذي يتسبب في برودة إشعاع الخلفية الكوني الحراري.

يعتمد مقدار الإزاحة الحمراء على وقت انبعاث الضوء (ومن ثم مقدار بعد مصدره). بالعودة للخلف صوب الانفجار الكبير تصير الإزاحة الحمراء أكبر وأكبر. ومن الشائع في أيامنا هذه أن نرى صورًا لمجرات (أو كويزرات، وهي القلوب المحمومة لبعض المجرات المضطربة بعنف) امتد الطول الموجي لضوئها بمقدار

ضعفين أو ثلاثة أضعاف طولها الموجي الأساسي، وهو ما يشير إلى أن المسافة بيننا وبين تلك المجرات قد زادت بقدر كبير عبر الوقت الذي استغرقه الضوء في الوصول إلينا. وبالتوغل للوراء أكثر في الزمن (وفي الفضاء) سنصل إلى الحقبة التي انبعث فيها إشعاع الخلفية. كانت درجة الحرارة في هذا الوقت حوالي ٣٠٠٠ درجة كلفينية، وهي درجة حارة بقدر كافٍ لجعل الإشعاع في النطاق فوق البنفسجي من الطيف الكهرومغناطيسي (انظر الشكل ٢-٥). يترافق هذا مع معدل إزاحة حمراء يبلغ ١١٠٠، وهو قدر كبير من الإزاحة بما يكفي لزيادة الطول الموجي بداية من نطاق الأشعة فوق البنفسجية، مرورًا بالضوء المنظور والأشعة تحت الحمراء، وصولًا إلى نطاق الموجات الميكرونية على الطيف. وهكذا فإن ما انبعث بوصفه إشعاعًا (حارًا) فوق بنفسجي يبدو لنا اليوم موجات ميكرونية (أبرد) بسبب العامل الهائل الذي تمدد الكون بموجبه في الفترة الوسيطة.

كما ذكرت من قبل فإن إشعاع الخلفية سافر صوب الأرض دون التعرض لأي إعاقة تقريبًا، وذلك منذ ٣٨٠ ألف عام بعد حدوث الانفجار العظيم. قبل ذلك الوقت كانت الحرارة مرتفعة للغاية حتى إن الذرات لم تكن موجودة، وذلك لأن الحرارة الفائقة كانت تتسبب في نزع الإلكترونات عن أنوية الذرات؛ أي إن الذرات كانت في حالة تأين. يشير علماء الفيزياء إلى الغازات في هذه الحالة باسم البلازما. تشتت البلازما الضوء بقوة، لذا فهي معتمة، ولهذا السبب نعجز، مثلًا، عن رؤية ما بداخل الشمس خلف الوهج السطحي. ولهذا، حين يستكشف المسبار WMAP إشعاع الخلفية الكوني، فإنه بالتبعية ينظر إلى الماضي بقدر ما تمكنه الموجات الكهرومغناطيسية.[6] ليس بمقدور أي تلسكوب عادي أو هوائي للموجات الميكرونية، مهما بلغت قوته، أن يخترق ذلك الضباب المتوهج خلفه. ومع ذلك، يمكننا التظاهر بأن الغاز ليس موجودًا ويمكننا حساب المقدار الذي من الممكن أن تكون الإزاحة الحمراء عليه في أوقات ماضية لو أننا كنا نتمتع بنظرة نافذة. بعد عشر ثوانٍ من الانفجار العظيم ستبلغ الإزاحة الحمراء حوالي المليار، ويبلغ قدرها بعد ثانية واحدة حوالي الثلاثة مليارات. يرتفع مقدار الإزاحة الحمراء دون حدود مع الاقتراب من لحظة ميلاد الكون. ولو حدث، بصورة سحرية، أن وصل ضوء مرئي بعد واحد على الألف من الثانية من الانفجار العظيم إلى كوكب الأرض اليوم، فسيتعرض طوله الموجي لإزاحة حمراء عظيمة حتى إننا سنتلقاه على صورة موجة لاسلكية ذات طول موجي كبير جدًّا.



شكل ٢-٥: **الطيف الكهرومغناطيسي.** للموجات الكهرومغناطيسية أطوال موجية متباينة. ومع أنها تنتمي لنفس الظاهرة فإن الاسم الذي يُعطى لكل منها يعتمد على الطول الموجي، والمبين هنا بوحدات تتراوح من النانومتر إلى الميكرومتر إلى الكيلومتر. تتسبب الإزاحة الحمراء التي تحدث بسبب تمدد الكون في إطالة الطول الموجي للأشعة المنبعثة في النطاق فوق البنفسجي على الطيف بعد ٣٨٠ ألف عام من حدوث الانفجار العظيم إلى نطاق الأشعة الميكرونية بحلول وقت وصولها إلينا.

(٦) هناك أفق في الفضاء لا يمكننا النظر خلفه

إلى أي مدى يمكننا الرجوع بالزمن إلى الوراء بالاستعانة بالإزاحة الحمراء؟ فإذا كانت لحظة الانفجار العظيم مرتبطة بحالة من الانضغاط اللانهائي (سأناقش هذا بمزيد من التفصيل)، عندئذٍ سترتفع الإزاحة الحمراء دون حدود كلما انبعث الضوء من لحظات أبعد وأبعد من الماضي. وعلى هذا يتحلى الضوء الصادر عن الانفجار العظيم نفسه بإزاحة حمراء لانهائية، هذا إذا كان من الممكن وصوله إلينا بالطبع. تعني الإزاحة الحمراء اللانهائية أننا في الحقيقة لن نرى شيئًا على

الإطلاق؛ أي إن الإشعاع لن يحمل لنا أي معلومات. هذا، كما هو واضح، يعد حدًّا فاصلًا؛ إذ لن يمكننا قط النظر خلف هذه النقطة في الفضاء أو هذه اللحظة من الزمن. يشير علماء الكونيات لهذا الحد باسم «الأفق». إن لحظة الانفجار العظيم، وفق هذه الصورة البسيطة المرسومة على نحو مثالي، هي أفق الفضاء الذي لا يمكننا رؤية أي شيء وراءه، حتى بشكل نظري، مهما بلغت قوة معدات الرصد لدينا (حتى مع تجاهل معدل إعتام المادة). من طرق التعبير عن هذا الحد الإشارة إلى أنه خلال الـ ١٣,٧ مليار سنة التي انقضت منذ الانفجار العظيم، يمكن أن يكون الضوء قد سافر لفترة ١٣,٧ مليار عام على الأكثر، ولهذا ليس من قبيل المفاجأة أننا نعجز عن رؤية أبعد من هذا القدر. إلا أن مثل هذه العبارات يجب التعامل معها بحذر؛ فحين نرصد مجرة تبعد عنا ١٣ مليار سنة ضوئية، فنحن نراها في المكان الذي كانت فيه منذ ١٣ مليار عام. لكن اليوم، ستكون هذه المجرة أبعد في المسافة بكثير عنا، لأن الكون تمدد تمددًا كبيرًا خلال هذا الوقت الفاصل. وعلى هذا تعتمد المسافة بيننا وبين المجرة على ما إذا كنا نتحدث عن المسافة الماضية (أي المسافة إلى المكان الذي «كانت» المجرة فيه لحظة إطلاق الضوء في الماضي) أم المسافة الحالية. إن أبعد المجرات التي يمكن رؤيتها باستخدام تلسكوب الفضاء هابل تقع «الآن» على مسافة حوالي ٢٨ مليار سنة ضوئية من الأرض.[7]

في هذه النقطة من النقاش عادة ما يطفو على السطح قدر من الارتباك. إذ يتساءل الناس: إذا كان الكون قد بدأ وهو منكمش للغاية في الحجم فلماذا كان علينا الانتظار كل تلك السنوات كي يصل الضوء إلينا من بقاع الكون التي كانت، في الماضي السحيق، أقرب من هذا بكثير؟ لماذا لم يقطع الضوء الصادر عن هذه المناطق الكون المضغوط بسرعة بحيث يصل إلينا منذ زمن بعيد؟ تكمن إجابة هذا السؤال في «معدل» تمدد الكون، فالضوء وهو يسافر عبر الكون يسرع صوب مجرات تتباعد تباعدًا متزايدًا عن مصدر الضوء. يمكن التعبير عن الأمر بصورة مختلفة بأن نقول إنه حتى إذا كان الضوء يقطع الفضاء فإن الفضاء نفسه يتمدد أمامه، وعلى هذا تشبه دفقة الضوء العداء الذي يجري على مشاية الجري. وتكون نتيجة ذلك أن رحلة الضوء تزيد تزايدًا كبيرًا.

للأفق وظيفة أخرى إلى جانب الحد من نظرتنا إلى الكون، فمن المبادئ الأساسية التي تقوم عليها نظرية النسبية أنه لا يمكن لجسم أو تأثير فيزيائي أن

يتجاوز سرعة الضوء (انظر الإطار ١). وعلى هذا فإن الحدث الذي يقع ما وراء الأفق لا تستحيل رؤيته وحسب، بل يستحيل عليه أيضًا بذل أي تأثير فيزيائي علينا في هذا الوقت، والعكس بالعكس. وكما سنرى فإن هذا القيد على عمل نظرية السببية سيكون عاملًا مهمًّا في محاولاتنا لفهم تركيبة الكون.

إطار ١: لماذا يعد الضوء حد السرعة الأقصى في الكون؟

لماذا لا يستطيع شيء التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء؟ من سبل الإجابة على هذا السؤال التساؤل عما سيحدث لو أننا حاولنا جعل أحد الأجسام المادية يكسر حاجز الضوء. يمكن إجراء مثل هذه التجربة على الجسيمات دون الذرية المشحونة كالإلكترونات، والتي يمكن حثها إلى سرعات تقترب من سرعة الضوء.

وفق نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، المنشورة عام ١٩٠٥، فإن كتلة الجسم تعتمد على سرعته. هذه نتيجة مباشرة لمعادلة: «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» $E = mc^2$. يرتبط بالحركة نوع من الطاقة (يسمى الطاقة الحركية)، وتخبرنا المعادلة بأن الطاقة لها كتلة. ولأن الجسم المتحرك تكون طاقته أكبر من الجسم الساكن، تكون بالتبعية كتلته أكبر. في السرعات العادية لا نلحظ أن الجسم المتحرك يكون أثقل من الجسم الساكن، والعامل (مربع سرعة الضوء) في المعادلة يعني أن الطاقة الحركية التي نقابلها في السرعات العادية لا تزيد من كتلة الجسم إلا بقدر ضئيل للغاية. إلا أنه في السرعات القريبة من سرعة الضوء تضاهي كتلة الطاقة الحركية كتلة الجسم عند السكون. عند ٨٧ بالمائة من سرعة الضوء يكون للطاقة الحركية وزن أكبر من الكتلة عند السكون. ومع سرعات أكبر تبدأ الكتلة الكلية في التصاعد. وبعد ذلك يحدث تناقص في معدل الزيادة؛ فالمزيد والمزيد من الجهد المبذول في محاولة تسريع الجسم يجعله أثقل وزنًا، ومن ثم يقل معدل التسارع أكثر وأكثر. ومع الاقتراب من سرعة الضوء ترتفع كتلة الجسم دون حدود، مما يجعل من المستحيل عليه زيادة سرعته، ولهذا السبب من المستحيل كسر حاجز الضوء.

والآن لنتحدث ببعض المصطلحات الفنية: يطلق على كتلة الجسم في سكونه مصطلح «كتلة السكون»، أما الكتلة الكلية للجسم المتحرك فيطلق عليها «الكتلة النسبية»، وهي تتكون من كتلة السكون إضافة إلى الكتلة المرتبطة بطاقة حركته. حين يشير علماء الفيزياء إلى «كتلة» الجسم، فإنهم عادة يعنون كتلة السكون. يقال إن الفوتون له كتلة سكون قدرها صفر، لكن من المستحيل أن يكون في سكون قط؛ إذ إنه يتحرك على الدوام بسرعة الضوء، وبالتأكيد له كتلة نسبية لا تساوي صفرًا (بما يتناسب مع تردده في الحقيقة).

إن عبارة «لا شيء يمكنه التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء» هي في الواقع مضللة بعض الشيء. تمنع النسبية الخاصة أي جسم مادي من تجاوز أي جسم آخر في سرعة تفوق سرعة

الضوء، لكن النسبية الخاصة هي جزء محدود من نظرية النسبية العامة التي تأخذ عامل الجاذبية في الاعتبار وتسمح بأمور على غرار تمدد الفضاء. في هذه الظروف يمكن التجاوز عن فكرة «عدم تجاوز سرعة الضوء». إن المجرات البعيدة، على سبيل المثال، يمكن أن تبتعد عنا بالفعل بسرعة تفوق سرعة الضوء. وهذا لا يتعارض مع القاعدة إذا طُبقت في إطار النسبية الخاصة، وهي تشير إلى موقف محدد المكان وليس إلى الحركة الشاملة في الكون بأسره.

(٧) تعريفات «الكون» المختلفة

يضيف وجود الأفق الضوئي قدرًا كبيرًا من التشوش على ما نعنيه بكلمة «الكون». ومما يؤسف له أن بعض المؤلفين يقدمون هذا المفهوم بشكل غامض، لكني أود أن أكون أكثر دقة. لذا إليك التعريفات المختلفة للكون.

(٧-١) الكون المرصود

هذا هو كل ما تستطيع معداتنا رصده من الفضاء وما يحتويه في الوقت الحالي. منذ قرن مضى، كان الكون المرصود يتكون من مجرتنا والمجرات القريبة منها، لكن مع تطوير تلسكوبات أكبر صار بمقدور علماء الفلك رؤية كل ما يحويه الكون تقريبًا حتى الأفق. وفي أيامنا هذه يتفق تعريف الكون المرصود مع التعريف التالي للكون.

(٧-٢) الكون القابل للرصد

وضعًا في الاعتبار أننا نعجز عن رؤية ما يقع خلف الأفق، يعني الكون القابل للرصد «كل ما يقع في نطاق الأفق». مع الوقت يتمدد الكون، وبعد مليار عام سيصير قطره ١٤,٧ مليار سنة ضوئية. لهذا يعتمد المقصود بالكون القابل للرصد على الوقت الذي يُرصد فيه الكون.[8] إن حقيقة وجود أفق لا تعني أن ما وراء هذا الأفق هو الخواء.[9] بل يمكن تصور الأفق على أنه سطح لكرة خيالية يبلغ قطرها ١٣,٧ مليار سنة ضوئية، مركزها الأرض، وتتحرك في جميع الاتجاهات بسرعة الضوء وهي تحدد قدر ما يمكننا رؤيته، حتى بشكل نظري. لا يعني هذا أن الأرض لها وضع خاص في الكون؛ فكل نقطة في الكون سيكون لها أفقها الكروي المحيط بها، الذي ربما يتداخل مع أفقنا. لكن لاحظ أنك إذا انتقلت إلى

المجرة (س)، التي تبعد ثمانية مليارات سنة ضوئية عن الأرض، عندئذٍ سيمتد الأفق المحيط بها إلى مناطق في الكون لا يمكننا رؤيتها هنا على الأرض في هذا الوقت. إننا لا نعرف ما يقع خلف أفقنا الكوني، لكن من المنطقي الافتراض بأنه لن يختلف عما نراه بالفعل، وأن المشهد من المجرة (س) لن يكون مختلفًا اختلافًا كبيرًا عن المشهد من كوكبنا. إن أبسط الافتراضات هو أن منطقة الفضاء الواقعة ضمن أفقنا هي ذاتها في الكون كله، وهذا هو مبدأ عدم التميز مجددًا، ولو كان الحال كذلك يمكننا إذن أن نصوغ تعريفًا ثالثًا.

(٧-٣) الكون الكلي

وهذا يشمل كل الفضاء (الذي يمكن أن يكون لانهائيًّا)، داخل أفقنا ووراءه، إضافة إلى محتوياته، وذلك وفق الافتراض بأن الكون المرصود مماثل للكون الكلي. فيما بعد سنرى أن هذه النظرة البسيطة للكون، والمبنية على التطبيق غير الدقيق لمبدأ عدم التميز، تتعرض في الوقت الحالي لنقد شديد. وهو ما يقودنا إلى تعريف آخر.

(٧-٤) الكون الجيبي

هو منطقة من الفضاء تمتد إلى حدود الكون القابل للرصد الذي نراه اليوم (والذي قد يمتد بقدر بعيد للغاية في حقيقة الأمر، إلى ما وراء الأفق). لكن لو أننا نسكن كونًا جيبيًّا[10] فسيكون هناك حد في مكان بعيد للغاية، ووراءه ستبدو الأشياء مختلفة للغاية. إلا أنه ستكون هناك أكوان جيبية أخرى موزعة بطول المنطقة الواقعة خارج أفقنا وعرضها، بعضها يشبه كوننا، لكن أغلبها لا يشبهه. ولهذا، من المرجح أن يكون كوننا متمايزًا، وهو ما يعني خطأ مبدأ عدم التميز إذا وضعنا في الاعتبار جميع الأكوان الجيبية. وهذا يقودنا إلى التعريف الأخير.

(٧-٥) الكون المتعدد

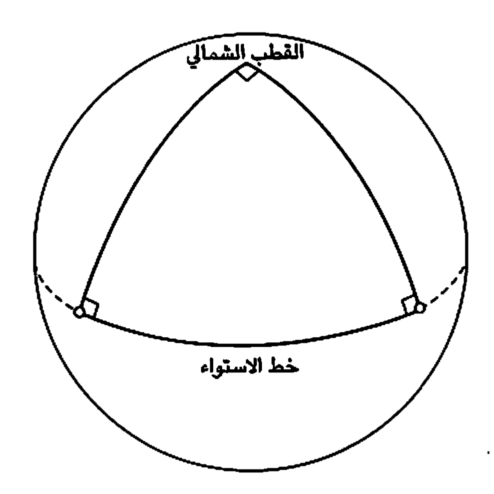
بشكل تقريبي هذه هي تجميعة للأكوان الجيبية (ذات العدد اللانهائي على الأرجح) إضافة إلى الفجوات بينها. يفضل بعض الكتاب هنا استخدام المصطلح «الكون الفائق». سأتناول فكرة الكون المتعدد في الفصول الأخيرة.

(٨) الكون المنحني

إلى الآن اقتصر تركيزي على الاكتشافات الكونية، إلا أن علم الكونيات لن يُعد علمًا بحق إذا افتقر إلى إطار عمل من النظريات الفيزيائية التي يمكن فهم هذه الاكتشافات داخله. وُضع الأساس النظري لعلم الكونيات الحديث منذ حوالي القرن على يد أينشتاين في صورة نظرية النسبية العامة. نُشرت هذه النظرية عام ١٩١٥، في الأيام السوداء للحرب العالمية الأولى، إلا أن هذا لم يمنع علماء الفلك والفيزياء من جانبي الصراع من الاهتمام الكبير بما تقوله هذه النظرية عن علم الكونيات. صُممت نظرية النسبية العامة، أو النسبية العامة كما يشار إليها اختصارًا، كي تحل محل نظرية نيوتن للجاذبية الموضوعة في القرن السابع عشر. في علم الكونيات تعد الجاذبية هي القوة المهيمنة، المسيطرة على جميع القوى الأخرى في شتى أرجاء الكون، لهذا احتاج علماء الكونيات لنظرية متعلقة بالجاذبية كي يفهموا الكون المتمدد.

تجسدت عبقرية أينشتاين في إدراكه أنه رغم أن الجاذبية تعبر عن نفسها في صورة قوة، فإنه من الممكن فهمها فهمًا مختلفًا تمامًا، في ضوء ما يعرف بـ «الهندسة المنحنية». دعني أشرح لك ما يعنيه هذا: إن قواعد الهندسة التي نتعلمها في المدارس يعود ماضيها إلى وقت الإغريق القدماء، وهي تعرف باسم الهندسة الإقليدية، على اسم إقليدس الذي دوّن قواعدها. هناك العديد من القواعد الرياضية التي يمكن إثباتها بالبديهيات الإقليدية، مثال على ذلك قاعدة فيثاغورث الشهيرة. من النظريات الأخرى الشهيرة تلك التي تنص على أن مجموع الزوايا الداخلية للمثلث تساوي مجموع زاويتين قائمتين (أي ١٨٠ درجة). إن خصائص الخطوط والدوائر والمثلثات وغيرها من الأشكال لا تحتمل غير تفسير واحد، إلا أن هناك شرطًا أساسيًا لذلك: وهي أنها تنطبق فقط على الأسطح المستوية. إن هذه النظريات تعمل بمثالية على سبورات الدراسة وألواح الورق الموجود على المكاتب الدراسية، إلا أنها لا تصلح في الأسطح المنحنية أو المطوية كالكرات. يدرك الطيارون والملاحون هذه الحقيقة بشكل تام، وهم يستخدمون قواعد هندسية مختلفة للتأقلم مع تقوس سطح الأرض. على سبيل المثال، على سطح كوكب الأرض يمكن أن يملك المثلث ثلاث زوايا قائمة (انظر الشكل ٢-٦).

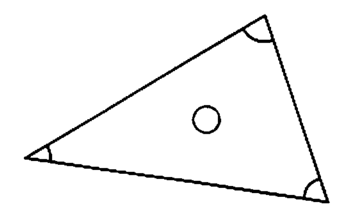
إذا كان بإمكان الأسطح ثنائية الأبعاد أن تكون إما مستوية (الهندسة الإقليدية) أو منحنية (الهندسة اللاإقليدية)، فهل يمكن أن يكون الفضاء ثلاثي



شكل ٢-٦: الفضاء المنحني. تختلف قواعد الهندسة على السطح الكروي عن تلك الخاصة بالسطح المستوي. على سبيل المثال، قد يحتوي المثلث على ثلاث زوايا قائمة، مثل هذا المثلث المرسوم على سطح الأرض، الذي يصل رأسه إلى القطب الشمالي وتسير قاعدته على امتداد خط الاستواء. السطح الكروي ثنائي الأبعاد الممثل هنا هو نظير للفضاء المنحني ثلاثي الأبعاد.

الأبعاد، إما ذا هندسة «مستوية» (إقليدية) أو هندسة منحنية؟ قبل أينشتاين كان الجميع يفترضون أن الفضاء له هندسة «مستوية» أو إقليدية، وأنه يتبع القواعد التي تعلمناها في المدارس للأبعاد الثنائية بشكل تام. إلا أنه لا يوجد سبب منطقي يحتم ذلك. تسلى بعض علماء الرياضيات في القرن التاسع عشر بفكرة أن هندسة الفضاء ثلاثي الأبعاد يمكن أن تكون تعميمًا لهندسة الأسطح المنحنية. وقد توصلوا للقواعد الهندسية الخاصة بهذا «الفضاء المنحني»، إلا أنه في ذلك الوقت كان يُنظر لهذا بوصفه تسلية رياضية لا أكثر. إلا أن كل هذا تغير مع حلول نظرية النسبية العامة، التي اقترح أينشتاين من خلالها أن حقل الجاذبية يمكنه التسبب في انحناء الفضاء ثلاثي الأبعاد، وهو ما يحتم علينا استخدام الهندسة اللاإقليدية لوصفه.

ما هو، إذن، الفضاء المنحني؟ من طرق تخيله: التفكير في مثلث مرسوم حول الشمس (انظر الشكل ٢-٧). لكن من المهم أن يكون هذا المثلث مستويًا (أي يقع على سطح مستوٍ). والآن قِس زوايا المثلث واجمعها معًا. إذا طبقنا الهندسة الإقليدية على هذا الموقف ستكون النتيجة ١٨٠ درجة، لكن أينشتاين زعم



شكل ٢-٧: الفضاء المنحني حول الشمس. إذا رسمنا مثلثًا «مستويًا» حول الشمس، يصير مجموع زواياه أكبر بقليل من ١٨٠ درجة؛ لأن مجال الجاذبية الشمسي يشوه هندسة الفضاء في الجوار. طريقة أخرى مساوية للتفكير في هذه الظاهرة هي أن نقول إن أضلاع هذا المثلث هي أكثر الخطوط استقامة في الهندسة المنحنية. إذا سلطنا أشعة ضوء على امتداد أضلاع المثلث فسيبدو للمتلقي على الجانب الآخر من الشمس أن الأشعة انثنت قليلًا بفعل جاذبية الشمس.

أن الإجابة ينبغي أن تكون أكبر قليلًا من ١٨٠ درجة، رغم استواء المثلث، وذلك لأن مجال جاذبية الشمس يحني الهندسة ثلاثية الأبعاد للفضاء المحيط به. يمكن إجراء هذه التجربة (بصورة مشابهة) من خلال موجات الرادار المرتدة عن عطارد والزهرة وتثليثها. يتضح لنا أن أينشتاين كان محقًّا، وأن الفضاء في حقيقة الأمر منحنٍ وليس مسطحًا. (توضيح مهم فيما يخص المصطلحات المستخدمة: حين يتحدث علماء الكونيات عن الفضاء «المسطح» فهم لا يعنون أن الفضاء مسطح مثل الفطيرة، بل يعنون فضاء ثلاثي الأبعاد لكن تنطبق عليه الهندسة الإقليدية.) أحيانًا توصف الهندسة المنحنية بالقرب من الشمس بالقول إن جاذبية الشمس تحني أشعة الضوء المارة بالقرب منها، وفي هذه الحالة سيكون للمثلث زوايا مشوهة بسبب انحراف أضلاعه. وهذا صحيح؛ فهذه طريقة أخرى للتفكير في الفضاء المنحني، مع الوضع في الاعتبار أن الأضلاع المنحرفة هي في حقيقة الأمر أكثر خطوط يمكن رسمها في الهندسة المنحنية استقامة، وعلى هذا لا يقتصر الأمر على مجرد تقويم أشعة الضوء المنحنية ومن ثم استعادة النتائج الإقليدية. إن الفضاء منحنٍ انحناء لا يمكن تقويمه، ولن تفلح أي حيلة في جعله يتوافق مع قواعد الهندسة الإقليدية.

مع أن الفضاء المنحني حول الشمس قابل للقياس فإنه ضئيل للغاية. وقد تأكد وجوده على يد عالم الفلك الإنجليزي أرثر إدينجتون، الذي قاس انحناء الضوء عن طريق ملاحظة الإزاحات الطفيفة في مواضع النجوم في نفس الموضع

الذي تحتله الشمس في السماء إبان الكسوف الكلي الذي حدث عام ١٩١٩. انحنت أشعة الضوء الصادرة عن النجوم بنفس القدر الذي تنبأت به النسبية العامة، وقد تسبب هذا التأكيد المثير في رفع أينشتاين إلى مكانة المشاهير. إن انحناء الفضاء ضئيل لأن مجال الجاذبية الشمسي ضعيف وفق المعايير الفلكية. لكننا اليوم على معرفة بأجسام أخرى في الفضاء لها مجالات جاذبية أكبر بكثير تسبب انحناء الضوء انحناءً أكثر قابلية للملاحظة. من الأمثلة البارزة على ذلك حين توجد إحدى المجرات بين كوكب الأرض ومصدر بعيد للضوء؛ في ظل هذه الظروف تحني المجرة أشعة الضوء من حولها من جميع الجهات، مثل العدسة، مسببة تشوه صورة مصدر الضوء البعيد وتقوسها. وفي بعض الحالات تصير الأشعة على شكل حلقة كاملة، تُعرف، بشكل ملائم، باسم حلقة أينشتاين. تحدث أقصى حالات انحناء الضوء — أو انحناء الفضاء — حول الثقوب السوداء. ففي هذه الحالة يكون انحناء الفضاء قويًّا حتى إنه يحبس أشعة الضوء تمامًا، ويمنعها من الهرب.

حتى الآن، هناك جانب معين تحدثت عنه بتبسيط شديد؛ إن أينشتاين في نظريته السابقة، المسماة بنظرية النسبية الخاصة والمنشورة عام ١٩٠٥، بَيّن أن المكان مرتبط بالزمن بصورة يمكن معها اعتبارهما وحدة واحدة، يعبر عنها بالمصطلح «زمكان» spacetime. إن للمكان ثلاثة أبعاد، وللزمن بعدًا واحدًا، وهو ما يعني وجود أربعة أبعاد إجمالًا.[11] توصل هيرمان مينكوفسكي، وهو أحد أساتذة أينشتاين في الرياضيات، إلى كيفية تعديل قواعد الهندسة الإقليدية كي تصف الزمكان رباعي الأبعاد. حين عمم أينشتاين نظرية النسبية عام ١٩١٥ كي يضمن الجاذبية، اقترح أن الزمكان هو الذي ينحني، وليس المكان وحده. قد تعني هندسة الزمكان المشوهة انحناء المكان، أو الزمن، أو كليهما. في المناقشة السابقة للفضاء المنحني حول الشمس تجاهلت عامل الزمن، إلا أن لهذا العامل أهميته هو الآخر، وحتى الانحناء الزمني (الضئيل) حول الشمس تم قياسه. وفي الحقيقة، حتى الانحناء الزمني الأصغر لكوكب الأرض قابل للقياس، وهو يعبر عن نفسه بالساعات التي تدق أسرع بشكل طفيف على الارتفاعات العالية، مثل الجبال، منها على مستوى سطح البحر. (لمزيد من الاختبارات عن النسبية العامة انظر الإطار ٢.)

إطار ٢: اختبارات لنظرية النسبية العامة لأينشتاين

حين نشر أينشتاين نظرية النسبية العامة عام ١٩١٥ (والمبنية على نظرية النسبية الخاصة التي نشرها عام ١٩٠٥)، اقترح ثلاثة اختبارات يمكن القيام بها عن طريق أخذ ملاحظات من داخل النظام الشمسي. كان أولها هو انحناء أشعة الضوء الذي ذكرناه من قبل. أما الاختبار الثاني فيتعلق بمدار كوكب عطارد. إن الانحناء الزمكاني حول الشمس يتسبب في حدوث انحراف بسيط في حركة الكواكب التي تدور حولها، والمصطلح العلمي لها هو «تقدم الحضيض». تغير آخر مشابه لكنه أكبر حجمًا بكثير يحدث نتيجة الاضطراب الذي تحدثه جاذبية الكواكب الأخرى. فيما يتعلق بكوكب عطارد فإن قدر التصحيح الصغير هو ٤٣ ثانية قوسية لكل قرن. ورغم ضآلة هذا الانحراف فإن علماء الفلك كانوا قد قاسوه بالفعل، وكان سببه غامضًا، إلى أن جاءت النسبية العامة وفسرته بدقة.

الاختبار الثالث متعلق بتأثير الجاذبية على الزمن؛ بمعنى أن الساعات تسير بشكل أبطأ في مجالات الجاذبية. في الحقيقة، كل العمليات الفيزيائية تُبطئ في مجالات الجاذبية، بما فيها عملية انبعاث الضوء. أوضح أينشتاين أن الضوء الصادر عن الشمس ينبغي أن ينحرف بقدر ضئيل صوب الطرف منخفض التردد من الطيف نتيجة مجال الجاذبية الشمسي، وهو الأثر المعروف باسم إزاحة الجاذبية الحمراء. من العسير قياس هذا في الشمس، لكن في عام ١٩٦٠ تم التأكد من هذا التنبؤ بدقة بالاستعانة بجاذبية الأرض. تمثلت التجربة في إرسال فوتونات أشعة جاما إلى أعلى أحد أبراج جامعة هارفارد، ثم استخدام تقنية رنين نووي فائقة الحساسية لكشف أي إزاحة في الترددات.

كشفت التطورات المتحققة في علم الفلك عن وجود أجرام سماوية لها مجالات جاذبية هائلة، يكون تأثير النسبية العامة عليها أعظم بكثير مما هو الحال داخل النظام الشمسي. على سبيل المثال، استُخدمت أزواج النجوم النيترونية التي يدور بعضها حول بعض في مدارات قريبة لتأكيد العديد من تنبؤات النظرية بدرجة دقة عالية. تعد الثقوب السوداء من التنبؤات الجامحة الأخرى لنظرية النسبية العامة، ويعكف علماء الفلك بنشاط على دراسة خصائصها. أيضًا تعد ظاهرة عدسة الجاذبية (التي تحدثنا عنها منذ قليل) اختبارًا إضافيًا.

مع اختراع الساعات الذرية وأشعة الليزر صار من الممكن اختبار تنبؤات النسبية العامة بدقة أعلى وأعلى في المزيد من المواقف. في حقيقة الأمر دخلت تأثيرات نظرية النسبية الآن عالم الهندسة التطبيقية. على سبيل المثال، يعمل نظام تحديد المواقع العالمي «الجي بي إس» GPS الذي يستخدمه السائقون والطيارون بالمقارنة بين الإشارات محددة الوقت بدقة الآتية من شبكة من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، على أن يقوم أحد لوغاريتمات الحاسب الآلي بضبط آثار الانحناء الزمني لكل من الجاذبية والحركة.

لم يخضع أحد تنبؤات نظرية النسبية العامة للاختبار بعد. في عام ١٩١٨ بين أينشتاين كيف أن الكتل المتحركة يمكنها توليد موجات جاذبية، هذه الموجات تشبه الموجات الكهرومغناطيسية وتسافر أيضًا بسرعة الضوء. ومع ذلك، ولأن الجاذبية أضعف بكثير من الكهرومغناطيسية يكون تأثير موجات الجاذبية أضعف بكثير. يمكن تخيل هذه الموجات على شكل ذبذبات صغيرة في سطح الفضاء المنحني، وحين تمر أي موجة بالقرب من أحد الأجسام تتسبب في اهتزازه بدرجة طفيفة. بُنيت أجهزة كشف في محاولة لتحديد هذا الأثر، إلا أنها لم تنجح في مسعاها حتى الآن. ومع ذلك، يظهر أحد الأنظمة النجمية النيوترونية المزدوجة الذي تمت دراسته على مدار سنوات عديدة إشارات على وجود خلل في مداره نتيجة موجات الجاذبية، وبهذا تم التأكد من وجودها بصورة غير مباشرة.

(٩) كون أينشتاين المتناهي لكن غير المحدود

يحتوي الكون القابل للرصد على حوالي ١٠^٥٠ طن من المادة المرئية على صورة نجوم وغازات وغبار، تتحد جميعها لتخلق مجال جاذبية قويًّا. ولأن الجاذبية تسبب انحناء هندسة الفضاء، يتداعى إلى الذهن على الفور السؤال الآتي المثير للاهتمام: ما الشكل الكلي للكون؟ لا أعني بهذا كيف تتوزع المجرات في الكون، بل إنني أشير إلى شكل الفضاء نفسه، في ضوء الشكل الأعظم للكون. هذه هي المشكلة التي عزم أينشتاين على حلها عام ١٩١٧، بعد عامين من تقديمه لنظرية النسبية العامة. وبتطبيق فكرة الفضاء المنحني على علم الكونيات أمكن بناء نموذج رياضي للكون بأكمله. ومع أنه قد اتضح فيما بعد عدم صحة هذا النموذج، فإنه قدم لعلم الكونيات عددًا من الملامح المهمة.

كما أوضحت تسبب الشمس بعض الاضطراب البسيط في الفضاء حولها. أيضًا تسبب النجوم الأخرى اضطرابات مشابهة في مواضعها. والسؤال الذي أفكر فيه حاليًّا يختص بكيفية تجمع هذه الاضطرابات معًا. هل سيكون الانحناء تراكميًّا، بحيث حين نضع في الاعتبار عناقيد المجرات سنجد أن انحناء الفضاء يصير كبيرًا للغاية، أم أن هذه الاضطرابات يلغي بعضها بعضًا؟ في نموذج أينشتاين الرياضي للكون تتراكم معدلات الانحناء حتى إنه، بتوزيعها على مليارات السنوات الضوئية، يشبه شكل الكون نسخة ثلاثية الأبعاد من سطح كرة، يشار إليها بالكرة الفائقة. لا تقلق إذا لم تستطع تخيل شكل الكرة الفائقة. النقطة المهمة هنا هو أنها

منطقية للغاية من الناحية الرياضية، ويسهل حساب خصائصها عن طريق تعميم نظرية الأسطح الكروية ثنائية الأبعاد المألوفة.

هناك خاصية مهمة تتعلق بحجم الفضاء، في كون أينشتاين الكروي الفائق يكون الفضاء متناهيًا (تمامًا مثلما يكون السطح الكروي للأرض متناهيًا). هذا يعني أن الفضاء (في نموذج أينشتاين) لا يمتد إلى ما لا نهاية، وبهذا يتناقض مع ما علمني والدي إياه. من الخصائص الأخرى المهمة لكون أينشتاين هي أنه متطابق الشكل (في المتوسط). يصح نفس الشيء، بالطبع، على سطح أي كرة؛ فلا توجد أي خصائص مميِّزة تتفرد بها أي نقطة بعينها على السطح الكروي؛ فلا يوجد مركز أو حد نهائي. (الكرة الأرضية لها مركز بالطبع، لكن «سطح» الكرة الأرضية ليس له مركز.) وعلى هذا سيبدو كون أينشتاين بنفس الشكل من أي مجرة، تمامًا كما يرصده علماء الفلك. وبهذا يصير الكون متناهيًا لكن غير محدود، غير محدود بمعنى أنه لا توجد به حافة أو حد نهائي يمنع أي جسم من التحرك من أي مكان لآخر في الكون. ومع ذلك فهناك عدد محدود من الأماكن التي يمكن الذهاب إليها، بنفس المعنى الذي نقصده حين نقول إن هناك عددًا محدودًا من الأماكن التي يمكن أن نقصدها على سطح كوكب الأرض. وتمامًا مثلما يستطيع الشخص الدوران حول كوكب الأرض بالمضي قدمًا في خط مستقيم، بحيث يعود إلى مكانه الأصلي لكن من الجهة المعاكسة، يستطيع أي شخص بشكل نظري أن يدور حول كون أينشتاين، بالسير في خط مستقيم، مع عدم الانحراف قط، ومن ثم العودة إلى نفس المكان الذي انطلق منه. وفي الواقع يمكنك باستخدام تلسكوب قوي بما يكفي أن تنظر عبر كون أينشتاين إلى أن ترى مؤخرة رأسك! نموذج الفضاء هذا هو التعميم ثلاثي الأبعاد لفكرة حلقة الشريط المطاطي التي وصفتها في بداية هذا الفصل (شكل ٢-٤).

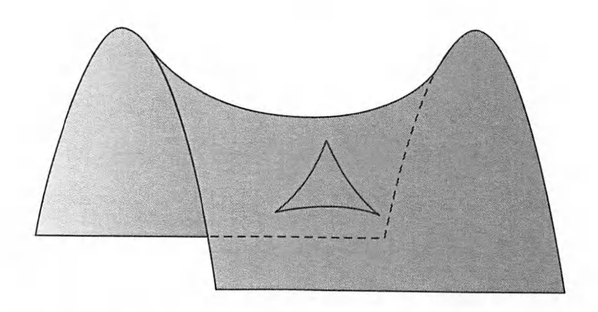
من الصعوبات التي يواجهها الناس عند تخيل شكل الكرة الفائقة تلك الفكرة المقلقة «ماذا يقع في قلبها؟» إنهم يفكرون في سطح كروي ثنائي الأبعاد، كالبالون المستدير، ثم يقولون: «حسن، يوجد هواء داخل البالون.» إن مسألة ما «يحويه» كون أينشتاين ليست بالقضية ذات الأهمية. إننا كبشر، والكون الذي ندركه (على الأقل تلك الأجزاء التي رصدناها بالفعل)، منحصرون في ثلاثة أبعاد من الفضاء، ولهذا تصير قضية ما يوجد «داخل» فضاء أينشتاين الكروي الفائق ثلاثي الأبعاد أمرًا غير ذي أهمية. يمكنك، لو كان هذا سيساعدك، أن تتخيل هذه المنطقة

«الداخلية» كبعد رابع للفضاء (فارغ أو حتى مليء بالجبن الطازج)، لكن لأننا حبيسو «السطح» الكروي الفائق ثلاثي الأبعاد، فلا يهمنا في شيء ما إذا كانت تلك المنطقة الداخلية موجودة أم لا، ناهيك عما تحويه. ونفس الأمر ينطبق على المنطقة الخارجية، التي تشبه في مثالنا الفضاء المحيط ببالون الهواء.[12]

لاستيعاب هذه النقطة، بما أنه يصعب على الكثيرين فهمها، حاول أن تتخيل نفسك في مكان مخلوق مسطح حياته محصورة على سطح بالون مستدير. قد يصل هذا المخلوق لفكرة عما يوجد داخل البالون (هواء، فراغ، جبن طازج ...)، لكن أيًّا ما هو موجود هناك لا يؤثر البتة على خبرات هذا المخلوق المسطح لأنه عاجز عن الوصول إلى داخل البالون أو حتى الحصول على معلومات عنه. إضافة إلى هذا، ليس من الضروري أن يكون داخل البالون أي شيء من الأساس (حتى الفراغ) كي يستطيع قاطنو السطح استنتاج كرويته. بمعنى أن المخلوقات المسطحة ليست بحاجة للنظر من أعلى إلى البالون لاستنتاج أن عالمها كروي — مغلق ومتناهٍ، لكن دون حدود — إذ يستطيع أحدهم أن يستنتج كل هذا من خلال الملاحظات المستقاة من السطح الكروي ذاته؛ بمعنى أن سمة الكروية «متأصلة» في السطح ولا تعتمد على كونه مدمجًا في فضاء ثلاثي الأبعاد محيط به. كيف يمكن للمخلوقات المسطحة معرفة ذلك؟ حسنًا، على سبيل المثال عن طريق رسم مثلث وقياس زواياه ومعرفة هل مجموعها سيتجاوز ١٨٠ درجة. أو بمقدور المخلوق المسطح أن يدور حول عالمه دورة كاملة. بنفس المنطق تمكن البشر من استنتاج أننا نعيش في فضاء أينشتايني كروي فائق مغلق محدود دون الحاجة إلى فضاء آخر ذي أبعاد أعلى يغلف أو يطوق كوننا؛ فقط بالقيام ببعض الحسابات الهندسية داخل فضائنا. وعلى هذا فإن وجود أو عدم وجود نطاق «داخلي» أو «خارجي» على كون أينشتاين، ناهيك عما يتكون منه، هو ببساطة أمر غير ذي صلة. لكن إذا وددت أن تتخيل وجود فضاء فارغ لا يمكن الوصول إليه فقط كي يسهل عليك تصور الأمر، فافعل، فهذا لن يحدث أي فارق.

(١٠) ما شكل الكون؟

كل هذا مقبول تمامًا، لكن هل كان أينشتاين محقًّا بالفعل في تصوره للكون على شكل كرة فائقة؟ هنا، يقدم لنا المسبار WMAP عونًا كبيرًا. من البديهي أنه لو



شكل ٢-٨: **الفضاء المنحني السالب.** من الممكن، بالمعايير الكونية، أن يكون الفضاء متطابقًا، لكنه منحنٍ إلى الخارج وليس إلى الداخل. الشكل ثنائي الأبعاد المبين هنا يعد تمثيلًا لهذا الفضاء ثلاثي الأبعاد المنحني بالسلب. إنه فضاء لانهائي ومتجانس. تعبر هندسة الانحناء السالب عن نفسها عن طريق تشويه شكل المثلث المرسوم، الذي يكون مجموع قياس زواياه أقل من ١٨٠ درجة.

كان الكون يفتقر للتطابق في الشكل بدرجة كبيرة، لبدا هذا واضحًا في أنماط الموجات الميكرونية الآتية من السماء. إلا أن حقيقة اتساق أنماط الإشعاع في الشكل لهذه الدرجة توحي بأن الكون — بقدر ما يمكننا رصده — ذو شكل منتظم.[13] لكن ما هذا الشكل؟ بالعودة للتشبيه ثنائي الأبعاد يمكننا تحديد شكلين منتظمين بشكل تام؛ السطح الممتد اللانهائي، والكرة تامة الاستدارة. إلا أن هناك نوعًا ثالثًا أشبه بالكرة المقلوبة. تذكر أنه على سطح الكرة يكون مجموع زوايا المثلث أكثر من ١٨٠ درجة. من الناحية الفنية يقال إن الكرة منحنية بشكل «موجب». لكن ماذا عن السطح المتسق الذي فيه يكون مجموع زوايا المثلث أقل من ١٨٠ درجة؟ مثل هذا الشكل يكون له تقوس «سالب». مثل هذا السطح الذي سيبدو كالسرج، يمكن أن يوجد، لكنه سيمتد إلى ما لا نهاية (انظر الشكل ٢-٨). إن الأسطح الثلاثة — ذات التقوس الصفري والموجب والسالب — يمكن تعميمها إلى ثلاثة أبعاد. ومنذ عشرينيات القرن العشرين، حين أدرك علماء الكونيات لأول مرة أن هناك ثلاثة أشكال متباينة للفضاء ذي الشكل المتطابق المتسق، يرغب العلماء في معرفة أي منها الأقرب شبهًا بكوننا.

جرت محاولات عدة للتعامل تعاملًا مباشرًا مع هذه المشكلة، فلأن هندسة الأشكال الثلاثة للفضاء متباينة فينبغي أن يصير علماء الفلك قادرين على التمييز بينها بسهولة وبالنظر فقط. إن قياس زوايا مثلث عبر مسافات كونية ليس بالأمر

الممكن، إلا أن هناك احتمالات أخرى. بالعودة مجددًا إلى العالم ثنائي الأبعاد، تخيل أنك رسمت عددًا من الدوائر متحدة المركز على ورقة مستوية. إن المساحة التي تشغلها كل دائرة منها تزيد بالتناسب مع مربع نصف قطرها، وإذا ضاعفت نصف القطر تتضاعف مساحة الدائرة أربع مرات. لكن على السطح الكروي تصير هذه العلاقة مغلوطة؛ إذ تزيد المساحة مع زيادة نصف القطر بمعدل أقل. من اليسير رؤية ذلك؛ لأنك لو حاولت فرد قبعة فسيكون عليك قص أجزاء مثلثة منها، وبهذا لن تغطي المساحة التي يغطيها نصف قطرها على سطح مستوٍ. وبالمثل، ستزيد مساحة شكل السرج بمعدل أكبر من مربع نصف القطر. بالانتقال إلى عالم الأبعاد الثلاثية سنجد أن حجم أي منطقة في الفضاء سيزيد بقدر يساوي مكعب نصف قطر هذه المنطقة لو أن الفضاء مستوٍ (مستوٍ لكن ثلاثي الأبعاد، تذكر، وليس مسطحًا تمامًا). أما لو كان الفضاء على شكل كرة فائقة، كما اقترح أينشتاين، فسيزيد الحجم بمعدل أقل مع زيادة نصف القطر، ولكنه لو كان على شكل «السرج الفائق» فسيزيد بمعدل أكبر. ومن الممكن حساب حجم أي منطقة في الفضاء بحساب عدد المجرات التي تحتوي عليها.

حاول بعض علماء الفلك تأسيس هندسة الكون على هذا النمط، لكن نتائجهم لم تكن حاسمة بسبب صعوبة قياس المسافات الدقيقة التي تفصلنا عن المجرات البعيدة وغير ذلك من الصعوبات التقنية. ومع ذلك فمن الممكن الحصول على إجابة من البيانات الخاصة بالمسبار WMAP، وذلك بقياس حجم التفاوت في درجات الحرارة، البقع الحارة والباردة (الفاتحة والداكنة) الموجودة بالشكل ٢-١. قبل إطلاق القمر الصناعي الحامل للمسبار WMAP، كان المنظرون قد توصلوا بالفعل إلى الحجم الفعلي للتفاوت في درجات الحرارة، لكن تحويل ذلك إلى حجم زاوي واضح في السماء يعتمد على هندسة الفضاء: فإذا كان الفضاء موجب الانحناء فسيجعل هذا الزوايا تبدو أكبر، في حين الانحناء السالب سيجعلها أصغر. أما لو كان الفضاء مستويًا (أي يتبع الهندسة الإقليدية) فسيكون الحجم الزاوي للتفاوت بين أقوى النقاط الحارة والباردة حوالي درجة واحدة عرضًا. كانت النتائج التي وردتنا من القمر الصناعي حاسمة؛[14] إذ كان التفاوت بالفعل قريبًا من درجة واحدة في الحجم، وهي النتيجة التي أكدتها التجارب التي جرت على الأرض وعن طريق المناطيد. وقد أعلن علماء الكونيات وقتها أن الفضاء — ضمن نطاق دقة رصد قدره ٢ بالمائة — مستوٍ.[15]

(١١) الكون قد لا يزن شيئًا!

كيف يمكن أن يكون الفضاء في مجمله مسطحًا في حين تتسبب الشمس وغيرها من النجوم في انحنائه في مواضعها؟ من المؤكد وجود شيء آخر بين النجوم يجعل الفضاء ينحني في الاتجاه المعاكس بحيث يصير متوسط الانحناء صفرًا. (تذكر أن الفضاء يمكن أن ينحني بالإيجاب أو بالسلب.) ما هذا الشيء؟ تأتينا الإجابة من معادلة أينشتاين الشهيرة: «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» وهي تخبرنا أن الكتلة طاقة، وأن الطاقة كتلة. سأشير كثيرًا إلى «الكتلة/الطاقة» كمفهوم واحد في حديثي التالي. عند تقدير كتلة الكون سيكون علينا تضمين جميع أنواع الطاقة، وليس فقط كتلة الشمس والنجوم وغيرها من الأجرام السماوية. تسهم أيضًا الطاقة الحرارية لإشعاع الخلفية الكوني في مقدار الكتلة/الطاقة الإجمالي للكون. وأخيرًا وليس آخرًا، هناك مجال الجاذبية نفسه؛ إذ إن الجاذبية نوع من الطاقة. لكن الآن سنلاحظ حقيقة غريبة: تخيل أنك تحاول إخراج الأرض من مدارها حول الشمس، سيكون عليك وقتها أن تبذل بعض الجهد — بمعني استهلاك طاقة — كي تجذبها بعيدًا عن مجال جاذبية الشمس. بهذا تصير طاقة الجاذبية التي تربط الأرض بالشمس «سالبة» (أي إنك تحتاج الجهد لفصم هذه الرابطة). وإذا كان لمجال الجاذبية طاقة سالبة فسيكون له بالتبعية كتلة سالبة، وبهذا ينبغي «طرحه» من الكتلة/الطاقة الموجبة للشمس والكواكب.

لنرَ الآن كيف تؤثر طاقة الجاذبية السالبة على المجموع الكلي لكتلة/طاقة الكون. داخل النظام الشمسي يعد مقدار كتلة/طاقة الجاذبية تافهًا مقارنة بكتلة الشمس الهائلة، وبهذا تصير الكتلة الكلية للنظام الشمسي — حتى مع الوضع في الحسبان قوى الربط السالبة — كبيرة وموجبة. لكن حين يتعلق الأمر بالكون في مجمله يختلف الحال تمامًا. من الخصائص المميزة للجاذبية أنها قوة عامة؛ بمعنى أنها تعمل بين جميع جزيئات المادة في الكون بأسره. لهذا، كي نحسب طاقة الجاذبية (السالبة) للكون كله، سيكون علينا أن نحسب كل أشكال طاقة الجاذبية التي تربط كل جزيء من المادة بآخر في الكون، وسيكون إجمالي قوى الربط هائلًا، حتى لو كانت المسافات التي تفصل كل نجم عن الآخر شاسعة للغاية. وعن طريق التقدير البسيط لطاقة الجاذبية التي تربط جميع المجرات بعضها ببعض سنجد أن إجمالي كتلة مجال الجاذبية (باستخدام معادلة: الطاقة = الكتلة

× مربع سرعة الضوء) يبلغ حوالي سالب ١٠^٥٠ طن، وهو ما يعادل تقريبًا الكتلة الإجمالية الموجبة (المضادة) للنجوم وغيرها. إن حقيقة كون هذين الرقمين الهائلين متماثلين — لكن أحدهما موجب والثاني سالب — توحي بقوة بأن أحدهما يعمل على تحييد الآخر، وهو ما يجعل الكتلة الإجمالية للكون تساوي صفرًا!

تقدم نظرية النسبية العامة لأينشتاين رابطًا بين كتلة الكون وهندسة الفضاء (انظر الفصل السادس). وعلى وجه التحديد، إذا كانت الكتلة الإجمالية موجبة — أي إن حجم المادة يفوق طاقة الجاذبية السلبية — يكون الفضاء منحنيًا بالإيجاب، مثل كون أينشتاين. أما إذا كانت الكتلة الإجمالية سالبة — أي إن طاقة الجاذبية تتفوق على المادة — يكون الفضاء منحنيًا بالسلب، مثل السرج. وإذا بلغت صفرًا يكون الفضاء مستويًا.[16] كان علماء الكونيات يعرفون لسنوات أن الطاقتين الموجبة والسالبة للكون تلغي إحداهما الأخرى، إلا أن المسبار WMAP هو الذي أكد هذه الحقيقة بالدليل، ففي حدود نسبة خطأ لا تتجاوز ٢ بالمائة وجد القمر الصناعي أن الفضاء مستوٍ، وهو ما يُترجَم إلى نتيجة مفادها أن «الكون لا يحوي أي كتلة صافية على الإطلاق!» وهذا، كما سنرى، يعد أحد «المصادفات» التي يحتاجها الكون كي يدعم الحياة.

(١٢) كم عدد الأبعاد الإجمالي؟

في عام ١٨٨٤ نشر رجل الدين الإنجليزي ذو الاسم الجليل إدوين إبوت إبوت النسخة المنقحة لقصة «الأرض المسطحة»، التي صارت من الأعمال الكلاسيكية المقروءة حتى يومنا هذا في جميع أرجاء العالم.[17] وقد مهد المؤلف للكتاب بهذا الإهداء العجيب:

إلى
سكان الفضاء على وجه العموم
وهاوارد كاندلر على وجه الخصوص
أهدي هذا العمل
أنا الساكن البسيط للأرض المسطحة
على أمل أنه
مثلما كشف أسرار
الأبعاد الثلاثة

بعد أن كان ملمًّا في السابق
ببعدين فقط
يطمح مواطنو هذه المنطقة الكونية
أعلى وأعلى
إلى أسرار الأبعاد الرباعية والخماسية والسداسية
وبهذا يسهمون
في توسيع الخيال
والتطور المحتمل
لسمة التواضع الأهم والأروع
بين الأجناس الأسمى
من البشرية

لمن لا يعرفون قصة الأرض المسطحة، هي تدور عن الحياة في بُعدين، ومدى حيرة قاطني هذا العالم ثنائي الأبعاد، الذين يعجزون عن تخيل مع تعنيه كلمات مثل «أعلى» و«أسفل»، حيال كيفية الحياة في عالم ثلاثي الأبعاد. المغزى من هذه القصة أننا نحن البشر نصاب بنفس الحيرة حين نحاول تخيل عالم له أكثر من ثلاثة أبعاد (وأنا أقر بهذا). إلا أن عجزنا عن تخيل شيء ما لا يعد دليلًا على عدم وجوده، فأنا مثلًا أعجز عن تخيل مبلغ المليار دولار، لكن من الواضح أن بعض الأشخاص يملكون هذا المبلغ بالفعل.

أما إبوت فقد كان احتمال وجود أبعاد إضافية في الفضاء ليس إلا فكرة مسلية له؛ إذ لم يكن يملك أي دليل على أن الفضاء به أكثر من ثلاثة أبعاد ولم يكن يعرف سببًا، استنادًا إلى فيزياء عصره، يدعوه للافتراض بوجود هذا الأمر. (أنا لا أشير هنا إلى حقيقة أن الزمن يوصف في بعض الأحيان بأنه البعد الرابع، فهذا أمر مختلف اختلافًا كليًّا.) لكن بعد ظهور كتابه بأربعين عامًا طُرحت فكرة احتواء الفضاء على «أربعة» أبعاد وليس فقط ثلاثة بواسطة عالم رياضيات ألماني يدعى ثيودور كلاوزا. لكن قبل أن أتحدث عن نظرية كلاوزا ينبغي عليّ أن أوضح ما أعنيه بالبعد الإضافي للفضاء. يسمح الفضاء المألوف ثلاثي الأبعاد بالحركة في ثلاثة اتجاهات بعضها عمودي على بعض؛ على سبيل المثال لأعلى وأسفل، وللأمام والخلف، ومن جانب لجانب. وأي حركة لا بد أن تتضمن نوعًا من الإزاحة نحو

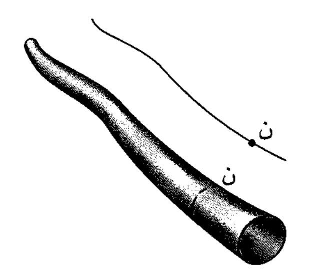
واحد، أو أكثر، من هذه الأبعاد الثلاثة. وببساطة لا يوجد مكان آخر يمكن التحرك فيه. يسمح البعد الرابع بالحركة في اتجاه آخر «رابع» عمودي على هذه الاتجاهات الثلاثة. من البديهي أنه لا يمكن حدوث ذلك في الفضاء المألوف، لكن من الممكن دراسة فضاء متخيل يملك هذه الخاصية. ولن يكون الأمر أصعب عند تخيل خمسة أو ستة أو أكثر من الأبعاد؛ إذ يستخدم العلماء والمهندسون مثل هذه التركيبات في عملهم كأداة حسابية مفيدة.

والآن لنعد إلى الموضوع الرئيسي: هل يمكن أن يحتوي الكون بالفعل على أربعة (أو أكثر) من أبعاد الفضاء؟ الإجابة التلقائية على هذا السؤال هي لا؛ لأننا نرى أن هذا لا يحدث بالفعل. لكن دعونا لا نتسرع؛ إذ ربما يكون البعد الرابع موجودًا بالفعل، لكنه مخفي عنا بصورة ما.

(١٣) إخفاء أبعاد الفضاء

كيف يمكنك إخفاء أحد أبعاد الفضاء؟ هناك طريقتان لعمل ذلك؛ الطريقة الأولى اقترحها عالم الفيزياء السويدي أوسكار كلاين في عشرينيات القرن العشرين، وكانت فكرته بسيطة للغاية: تخيل أنك ترى خرطومًا لري الحديقة من بعد، سيبدو لك وقتها مثل الخط الملتوي. لكن إذا فحصته عن قرب فسيتضح لك أن هذا الخط هو سطح ثنائي الأبعاد مطوي على شكل أنبوب رفيع (انظر الشكل ٢-٩). إن ما بدا لك في البداية مجرد نقطة على الخط، هو في الحقيقة دائرة صغيرة تدور حول محيط الأنبوب. وبنفس الصورة، ربما يكون ما نعتقد أنه نقط في الفضاء ثلاثي الأبعاد هي في حقيقتها دوائر صغيرة ملتفة حول بعد رابع. وإذا كان محيط هذه الدوائر أصغر بكثير عن حجم الذرة فلن نلحظ وجود البعد الفضائي الإضافي من واقع ملاحظاتنا العادية، وسينكشف فقط بالتجريب الدقيق على المستوى دون الذري.

ليس هناك حد أقصى لعدد الأبعاد التي يمكن طيها — أو «دمجها» إذا استخدمنا المصطلح الرسمي — بهذه الكيفية. لكن مع وجود أكثر من بعد آخر إضافي هناك طرق متزايدة لدمج هذه الأبعاد. على سبيل المثال، يمكن أن يلتف بعدان إضافيان حول نفسيهما بشكل منفصل مثل خرطوم الري المذكور، لكن يمكن أيضًا أن يجتمع أحدهما مع الآخر — أو ينطوي أحدهما على الآخر — على صورة كرة دقيقة. يشير علماء الرياضيات إلى هذه الأشكال البديلة بأن لها



شكل ٢-٩: **كيف نخفي أحد أبعاد الفضاء؟** من بعد، يبدو خرطوم ري الحديقة مثل الخط الملتوي أحادي البعد، لكن عن قرب، نجد أنه في الحقيقة أنبوب رفيع. إن النقطة ن هي في حقيقتها دائرة صغيرة ملتفة حول البعد الثاني الإضافي. يمكن أن يكون الفضاء بنفس الشكل؛ فربما نكتشف أن كل نقطة في الفضاء، إذا كبرناها بالحجم المناسب، هي دائرة صغيرة ملتفة حول بعد رابع للفضاء.

طوبولوجيا متباينة. إن عدد الأشكال الممكنة يرتفع بدرجة كبيرة كلما أضفنا المزيد من الأبعاد. ولهذا، عند مناقشة شكل الفضاء علينا أن نحدد ليس فقط عدد الأبعاد الموجودة إجمالًا، بل أيضًا أي الأبعاد «كبيرة» (مثل الأبعاد الثلاثة التي نراها) وأيها مدمجة (ومن ثم غير مرئية). إضافة إلى ذلك علينا تحديد هندسة وطوبولوجيا الأبعاد المدمجة أيضًا. سنرى فيما بعد أن أبعاد الفضاء المدمجة تلعب دورًا في نظرية الأوتار وغيرها من المحاولات التي تهدف لبناء نظرية موحدة للفيزياء.

هناك طريقة ثانية يمكن بها إخفاء الأبعاد الإضافية عن النظر؛ ماذا لو كنا بطريقة ما أسرى، على غرار الأرض المسطحة، في الفضاء ثلاثي الأبعاد الذي نراه؟ بمعنى أن جزيئات أجسامنا، وجميع الأشياء الموجودة حولنا، «تعيش» في فضاء ثلاثي الأبعاد، وليست حرة للتحرك في أي بعد إضافي. من البديهي أن يؤثر هذا الأسر على الضوء بدوره، وإلا لكنا رأينا هذا البعد الرابع حتى لو لم نكن نستطيع التحرك فيه. إن فكرة الأسر هذه لم تثر لهذا الغرض تحديدًا؛ بل نراها تظهر بشكل طبيعي في بعض نظريات الفيزياء الأساسية والمعروفة باسم نظريات «الغشاء» brane theories، التي تُستخدم في تسميتها كلمة brane كتشبيه بكلمة membrane (التي تعني الغلاف ثنائي الأبعاد المدمج في الفضاء ثلاثي الأبعاد). وفق هذه النظريات فإن كوننا ثلاثي الأبعاد يمكن أن يكون غشاء ثلاثي الأبعاد مدمجًا في فضاء رباعي الأبعاد. لنظريات الغشاء قدر من الشعبية في بعض الأوساط، وهي تقدم تنبؤات محددة قابلة للاختبار بشأن طبيعة الجاذبية ومسلك

الجسيمات دون الذرية. لكن حتى الآن لا يوجد دليل تجريبي على أننا نعيش في غشاء ثلاثي الأبعاد، هناك فقط قدر كبير من النظريات الرياضية المثيرة للاهتمام.[18]

إن احتمال وجود عدد «كبير» من الأبعاد في الفضاء يثير تساؤلًا مهمًّا عن اختيار الطبيعة ثلاثة منها فقط. هل هناك مغزى معين للرقم ثلاثة؟ في الخمسينيات أوضح الرياضي الإنجليزي جيرالد ويترو[19] أنه لو كان للفضاء أربعة أبعاد، فإن قوانين الجاذبية والكهرومغناطيسية ستظل بلا تغيير، لكننا سنواجه متاعب جمة؛ فقانون التربيع العكسي سيتحول إلى قانون تكعيب عكسي، وبقليل من التفكير سنجد أن مدارات الكواكب هكذا لن تكون مستقرة، وسرعان ما تدور الأرض بشكل حلزوني إلى أن تغوص في الشمس. أيضًا ستُبتلى الذرات بمشاكل مشابهة تضرب استقرارها. وإذا كان بالفضاء خمسة أبعاد فستكون المشاكل أكبر. أما لو كان هناك بعدان فقط فستواجه الموجات مشكلة في الانتشار والانعكاس، ما يؤدي إلى آثار معقدة قد تؤثر على قدرة النظم المعقدة على التصرف بطريقة مترابطة منطقيّة. لهذا استنتج ويترو أن الحياة ستكون مستحيلة في أي فضاء يوجد به غير ثلاثة أبعاد. فالبعدان أقل من اللازم، والأربعة أكثر من اللازم، لكن الأبعاد الثلاثة مناسبة للغاية؛ تمامًا كما في قصة جولديلوكس. وهكذا تقابلنا سمة أخرى من سمات الكون الداعمة للحياة تحتاج لتفسير.

النقاط الأساسية

- بدأ الكون بانفجار عظيم حار منذ حوالي ١٣,٧ مليار عام ولا يزال في حالة تمدد. أفضل وسيلة لتخيل هذا التمدد هو تخيل الفضاء بين المجرات وهو يتوسع.
- الفضاء مليء بإشعاع حراري هو بقايا، أو توهج متبقٍّ، للمرحلة الأولى الحارة من الكون. أُخْضِعَ إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، الذي يعرف اختصارًا باسم إشعاع الخلفية، لدراسات مستفيضة أبرزها تلك التي تمت بالقمر الصناعي WMAP، وذلك لأنه يحوي معلومات مهمة عن تاريخ الكون وبنيته.
- تكشف التفاوتات في مستوى شدة إشعاع الخلفية عن بذور البنى الضخمة الأساسية للكون (عناقيد للمجرات).

- ليس للكون مركز أو طرف يمكن رؤيته.
- بما أن الضوء يسافر بسرعة محددة، فهناك مسافات قصوى، أو أفق، لا يمكن رؤية ما وراءه في الفضاء.
- توصف الجاذبية من خلال نظرية النسبية العامة لأينشتاين فيما يخص علاقتها بانحناء الفضاء (أو على وجه أكثر تحديدًا انحناء الزمكان). الفضاء المنحني شيء مألوف لعلماء الفلك.
- مع أن الفضاء ينحني في مواضع بعينها، بسبب النجوم والمجرات، فإن الهندسة الكلية للكون تبدو مستوية (إقليدية). تتنبأ نظرية النسبية العامة لأينشتاين بأنه ينبغي أن تساوي الكتلة الكلية للكون صفرًا؛ حيث تُلغى الكتلة/الطاقة الموجبة للمادة بفعل الكتلة/الطاقة السالبة لحقل الجاذبية الخاص بكل المادة الموجودة في الكون.
- ربما توجد أبعاد أخرى في الفضاء غير الأبعاد الثلاثة التي ندركها. تتطلب بعض نظريات الفيزياء ذلك. من الممكن أن تكون الأبعاد الأخرى مخفية عن ناظرينا عن طريق، مثلًا، طيها إلى حجم ضئيل.

الفصل الثالث

كيف بدأ الكون؟

(١) بقايا الكون المبكر

أذكر أنني حضرت دورة تعليمية في علم الفلك في جامعة لندن عام ١٩٦٧ كان المحاضر فيها يتحدث عن موضوع إشعاع الخلفية الكوني، الذي كان يعد أحد الاكتشافات الحديثة وقتها. وقد أخبرنا أنه بالاستناد إلى ما يمكن استقاؤه من هذا الاكتشاف بشأن الحالة المبكرة الكثيفة الحارة للكون، من الممكن التوصل إلى التغيرات الفيزيائية التي وقعت في الدقائق القليلة الأولى التي أعقبت الانفجار العظيم. انفجر جميع الحاضرين في الضحك؛ ففي تلك الأيام كان من الصعب أخذ أي تحليل تفصيلي لما كان الكون عليه بعد دقائق من نشوئه بمحمل الجد. وحتى الإنجيل لا يخبرنا عن الأمر إلا بالكلمات «في اليوم الأول». ومع هذا، في غضون سنوات قليلة صار «الكون المبكر» — الذي حدده علماء الكونيات على أنه المرحلة الممتدة ما بين واحد ميكروثانية بعد الانفجار العظيم ووقت التقاط صور المسبار WMAP (٣٨٠ ألف عام) — موضوع دراسة روتينيًّا في المحاضرات ومشاريع رسائل الدكتوراه. وحتى كتاب ستيفن واينبرج الذي حقق أعلى المبيعات بعنوان «الدقائق الثلاث الأولى» كان يعد بالفعل من المراجعات التقليدية حين نُشر عام ١٩٧٧.

دعوني أبدأ بذكر بعض الإنجازات المباشرة لنظرية الانفجار العظيم. إن أكبر نجاحاتها يرتبط ارتباطًا مباشرًا بالموضوع الرئيسي لهذا الكتاب؛ ملاءمة الكون للحياة. في الفصل الأول تحدثت عن بعض متطلبات الحياة، وعلى رأسها وجود مخزون من العناصر الكيميائية المتعددة التي تستخدمها الكائنات الحية. هذه العناصر لم توجد لحظة الانفجار العظيم؛ إذ كانت الحرارة شديدة بما يمنع تكونها. وبعد عقود من الأبحاث صار من الممكن إعادة بناء كيفية تكون العناصر بنوع من التفصيل. تبدأ القصة بعد الانفجار العظيم بثانية واحدة. في ذلك الوقت، كانت

الحرارة تزيد عن ١٠ مليار درجة مئوية، أي أشد حرارة من أشد النجوم حرارة. في ظل هذه الظروف لا تستطيع الذرات التواجد، وحتى أنوية الذرات ستتهشم تمامًا. على هذا لم تكن حالة الكون وهو في عمر ثانية واحدة إلا حساء (أو بلازما على نحو أدق) من المكونات الذرية الحرة؛ بروتونات ونيوترونات وإلكترونات.

الهيدروجين هو أبسط العناصر الكيميائية؛ إذ تحتوي نواته على بروتون وحيد. إن أغلب البروتونات التي خرجت من الانفجار العظيم ظلت حرة، وقُدر لها أن تكون ذرات هيدروجين فور أن هدأت حرارة الكون بما يكفي كي يقتنص كل بروتون إلكترونًا. (هذه الخطوة الأخيرة لم تحدث لقرابة ٤٠٠ ألف عام.) في الوقت ذاته لم تكن جميع البروتونات منعزلة؛ إذ اصطدم بعضها بنيوترونات والتصق بها مكونًا الدويتيريوم، وهو أحد النظائر النادرة للهيدروجين يحمل بروتونًا ونيوترونًا في كل نواة. واندمجت بروتونات أخرى مكونة الهليوم، ثاني أبسط العناصر الكيميائية، وتحتوي نواته على بروتونَين ونيوترونين. إن ما أصفه يطلق عليه الاندماج النووي، وهي عملية معروفة بشكل كبير. بإمكان البروتونات والنيوترونات أن تندمج معًا مكونة أنوية مركبة فور أن تهبط درجة الحرارة بقدر معين حتى لا تتحطم النواة المكونة حديثًا ثانية بسبب الحرارة الشديدة. إلا أن نافذة الفرص أمام الاندماج النووي كانت محدودة؛ حيث فُتحت والكون يبلغ من العمر ١٠٠ ثانية أو نحو ذلك، وأغلقت مجددًا بعد دقائق قليلة. وفور هبوط الحرارة ما دون حوالي المائة مليون درجة، يتوقف الاندماج النووي لافتقار البروتونات الطاقة التي تمكنها من التغلب على قوى التنافر الكهربي المتبادلة.

من الممكن احتساب مقدار الهليوم المتكون وعدد البروتونات التي تركت حرة لتكون الهيدروجين، على افتراض صحة الفكرة الأساسية للانفجار العظيم الحار. تبلغ الإجابة حوالي ثلاث ذرات هيدروجين في مقابل كل ذرة هليوم، ولا شيء آخر دون ذلك (خلا كميات ضئيلة من الدويتيريوم والليثيوم). هذا تقريبًا ما قدره علماء الفلك فيما يخص الوفرة النسبية لأبسط العناصر. كيف عرفوا؟ إن كل العناصر الكيميائية تَحمِل، على الضوء الذي ينبعث منها، «كودًا شريطيًّا» على صورة خطوط مرئية في أطيافها، وبتحليل الضوء الصادر عن النجوم يستطيع علماء الفلك قراءة هذه الأكواد الشريطية ومعرفة ما يتكون منه النجم. يستخدم نفس الأسلوب مع أي مصدر فلكي يطلق (أو يمتص) الضوء، بما في ذلك سحب الغاز المنتشرة. وعن طريق هذه القياسات بتنا نعرف أن الكون مكون بالكامل

تقريبًا من الهيدروجين والهليوم بنسبة تقارب الثلاثة إلى واحد. إن الهليوم، إذن، هو الأثر الباقي للدقائق الأولى القليلة للكون.[1]

ذكرت للتو أن الاندماج النووي أمر معروف. في حقيقة الأمر أغلب العمليات الفيزيائية التي جرت خلال الفترة بين واحد على مليون من الثانية وعدة دقائق من الانفجار العظيم تعتبر من الأشياء العادية الآن. ولا أعني ذلك من الناحية النظرية وحسب؛ إذ صار من الممكن اختبار العمليات الفيزيائية التي جرت في الكون المبكر بطريقة مباشرة في المختبرات. في لونج أيلاند توجد آلة عملاقة تسمى مصادم الأيونات الثقيلة والمصممة بغرض دفع أنوية الذهب وغيره من الذرات الثقيلة للارتطام بعضها ببعض مباشرة، بقوة كافية تحاكي ظروف الكون المبكر بعد جزء من المليون من الثانية من بدايته، حين كانت درجة الحرارة تربو على التريليون درجة. هذه التصادمات عالية الطاقة تمكن العلماء في مختبر بروكهافن الوطني، الذي ابتكر المعجل، من رؤية ما كان يحدث حين كان الكون الذي نشاهده اليوم مضغوطًا إلى حجم لا يتجاوز حجم نظامنا الشمسي، في درجة حرارة تزيد بمليون ضعف عن حرارة قلب الشمس. وقد اتضح أنه في ظل هذه الظروف القاسية، حتى البروتونات والنيوترونات لا يمكنها التواجد ككيانات مستقلة، بل كانت منصهرة في خليط غير منتظم الشكل من الشظايا دون النووية.

(٢) سرعان ما افتقد الانفجار العظيم الزخم

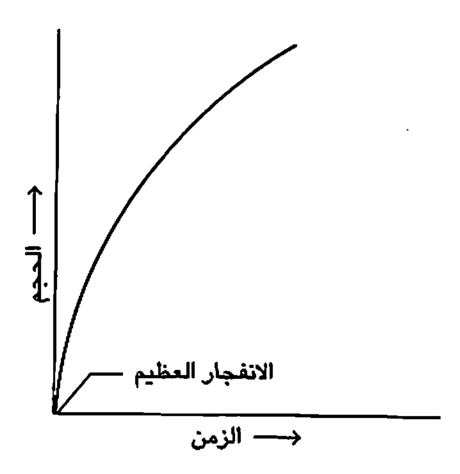
جرت العمليات التي كنت أناقشها في كون كان يتمدد ويبرد بسرعة كبيرة للغاية. وكتوضيح للأمر، فإن حجم الكون القابل للرصد تضاعف تقريبًا ما بين الميكروثانية (واحد على مليون من الثانية) الأولى والثانية بعد الانفجار العظيم. إن معدل التمدد هذا يفوق معدل التمدد الذي يشهده الكون اليوم بتريليون تريليون مرة. إلا أن هذه السرعة المحمومة لم تدم طويلًا؛ فبحلول الثانية الأولى بعد الانفجار انخفض معدل التمدد إلى واحد على تريليون مما كان عليه في الميكروثانية الأولى. من السهل فهم سبب هذا التباطؤ الكبير؛ إن الجاذبية، قوة الجذب العامة بين جميع أشكال المادة، عملت عمل المكابح التي تهدئ من سرعة تمدد الكون، وذلك بفضل الحالة المضغوطة ضغطًا استثنائيًّا للمادة في ذلك الوقت. استمر الأثر المبطئ على مدار الدقائق والساعات والسنوات وآلاف السنوات التالية، لكن «معدل»، أو حجم، التباطؤ بدأ يقل

مع الوقت مع اتساع الكون وضعف تأثير قوة الجاذبية. يبين الشكل ٣-١ المنحى العام الذي اتخذه تمدد الكون، وفيما بعد سأبين كيف أن هذا التباطؤ ربما يكون قد انعكس وتحول إلى تمدد متسارع، بعد انقضاء مليارات قليلة من الأعوام. لكن في الوقت الحالي نحن مهتمون فقط بالكون المبكر، حين كان معدل التمدد يتباطأ بقوة.

إن فكرة التمدد السريع لكن المتباطئ تثير قضية مهمة، وهي المقارنة بين معدل التمدد وسرعة تغير العمليات الفيزيائية الجارية، على سبيل المثال، التفاعلات النووية. إذا وقع تفاعل من هذا النوع بعد عشر ثوان من حدوث الانفجار العظيم واستغرق، لنقل، جزءًا على ألف من الثانية، في هذه الحالة لن يكون لحقيقة تضاعف الكون في الحجم كل بضع ثوان أي أهمية؛ إذ إن معدل التمدد سيكون بطيئًا للغاية مقارنة بمعدل التفاعل بحيث لا يؤثر عليه مطلقًا. لكن إذا وقعت العملية التي تستغرق جزءًا على ألف من الثانية في كون يتمدد بمعدل، لنقل، «نصف» جزء على ألف من الثانية سيكون الأمر مختلفًا تمامًا، ففي هذه الحالة سيكون التمدد غير مستقر، ويفشل التفاعل في ملاحقة سرعة التمدد. إن قصة الكون المبكر تحمل تقلبات عديدة في هذا الجانب؛ ففي بعض الأحيان تواكب المادة الكونية معدل التمدد في السرعة، وفي حالات أخرى تتجمد في حالة محددة من لحظة سابقة. وسنرى في الفصول الأخيرة كيف أن هذه الأحداث «المجمَّدة» لعبت دورًا محوريًّا في جعل الكون ملائمًا للحياة.

(٣) الكون المبكر «للغاية»

رغم نجاح قصة الكون المبكر في تفسير العديد من الحقائق الكونية، فإنها تترك الكثير من الحقائق دون تفسير. هناك دائمًا إغراء للتساؤل: «حسن، وماذا حدث قبل هذا؟» لقد ذكرت كيف أن تجارب مصادمة الأيونات الثقيلة يمكنها محاكاة حالة الكون بعد مرور ميكروثانية على الانفجار العظيم. لكن هل يمكن العودة بالزمن أكثر إلى الوراء، لنستكشف طاقات أكبر والاقتراب أكثر من اللحظة الأولى الغامضة التي وقع فيها الانفجار العظيم؟ تستطيع أكبر معجلات الجسيمات في العالم الوصول إلى طاقات أعظم من تلك التي تصل إليها آلة بروكهافن. ومع أن المعجلات مقصورة في الغالب على تصادم جسيمين فحسب، فإنها تمكن علماء الفيزياء من اختلاس النظر إلى العمليات التي كانت تقع في الكون بعد واحد على التريليون من الثانية من الانفجار العظيم.



شكل ٣-١: **تبطئ الجاذبية معدل تمدد الكون.** ينبغي أن يزيد حجم الكون مع مرور الوقت، وذلك وفق نظرية النسبية العامة. وقد بدأ الكون في التمدد بشكل متسارع مع حدوث الانفجار العظيم، لكن مع الوقت تباطأ معدل التمدد بفعل قوة الجاذبية التي عملت عمل المكابح.

ليس السبب وراء الرغبة في تقسيم الخط الزمني لنشوء الكون إلى أجزاء أصغر وأصغر هو هوس علماء الكونيات بالتفاصيل بقدر ما هو الطبيعة الحسابية للتدرج الزمني نفسه، فمع عرض الفيلم الكوني العظيم إلى الوراء عودة إلى نقطة البدء، تتصاعد وتيرة التغير. إن ما حدث في الفترة ما بين الميكرو ثانية والملي ثانية الأولى من عمر الكون يساوي تقريبًا ما حدث بين الملي ثانية والثانية، أو ما بين الثانية الواحدة وعدة دقائق. سبب ذلك هو أن ضغط الكون وحرارته يرتفعان دون حدود كلما اقتربنا من نقطة الصفر. وهذا، إلى جانب حقيقة أن أعمق البنى الكونية قد صيغت في الأوقات المبكرة لتكونه، يدفعنا لا محالة إلى الاستمرار في التساؤل: «ما الذي حدث قبل هذا؟»

بدأ علماء الكونيات في السبعينيات — منتشين بنجاح نظريتهم عن الكون المبكر — في الاهتمام بما يطلقون عليه الكون المبكر «للغاية». قد تكون فترة الميكروثانية قصيرة بالمعايير البشرية، لكن في عالم فيزياء الجسيمات دون الذرية تعد هذه الفترة طويلة للغاية. إن العديد من التفاعلات المرصودة، على غرار تحلل بعض المكونات دون النووية، تحدث في واحد على تريليون التريليون من الثانية. هذه الفترة الوجيزة ترسي إطارًا زمنيًّا أساسيًّا لفيزياء الجسيمات، وقد انجذب

علماء الكونيات، على نحو مفهوم، لتخمين ما يكون قد حدث في الكون في مثل هذه الفترة الوجيزة أو حتى قبلها.

لم يكن الدافع هو الفضول وحسب؛ إذ صار واضحًا في السبعينيات أن بعض الملامح الأساسية للكون ظلت دون تفسير، بل في الواقع كانت تمثل لغزًا كبيرًا؛ أولها وأوضحها كانت مشكلة ما تسبب بالفعل في حدوث الانفجار العظيم. يرتبط بهذه القضية سؤال بديهي هو لماذا كان الانفجار العظيم بهذا الحجم تحديدًا، وليس أكبر أو أصغر؟ ما الذي حدد مقدار قوته؟ ثم هناك اللغز الخاص بالسبب وراء كون الهندسة واسعة النطاق للكون مستوية، واللغز المرتبط بهذا والمتمثل في السبب وراء كون الكتلة/الطاقة الكلية للكون تساوي صفرًا. لكن أكبر الألغاز قاطبة يتعلق بذلك التطابق العجيب الذي يتسم به الكون على النطاق العريض، وهو الأمر المتجسد من خلال التوزيع المتجانس لإشعاع الخلفية الكوني. فكما أوضحت، على نطاق مليارات السنوات الضوئية، يبدو الكون متماثلًا في كل مكان. أيضًا نفس الملحوظة تنطبق على التمدد؛ فمعدل التمدد متماثل، حسبما يبدو لنا، في جميع أرجاء الكون. كل هذه الخصائص كانت مثيرة للحيرة في السبعينيات، ومع ذلك فهي جميعًا أساسية لخلق كون ملائم للحياة. على سبيل المثال، لو كان الانفجار أكبر من ذلك لتسبب في تشتيت الغازات الكونية لدرجة لا يمكن معها أن تتجمع لتكوين المجرات. وعلى العكس، لو كان أضعف من ذلك لانهار الكون على نفسه قبل ظهور الحياة. لقد توصل كوننا إلى تسوية سعيدة؛ حيث يتمدد ببطء يكفي لتكون المجرات والنجوم والكواكب، لكن ليس ببطء كافٍ يخاطر بانهياره على نفسه.[2]

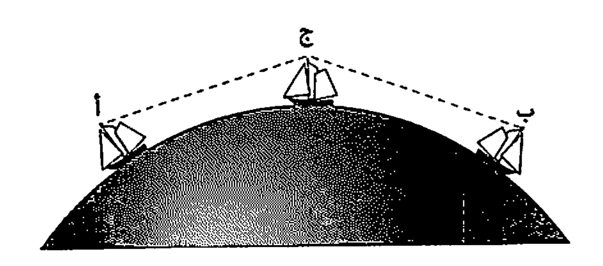
(٤) لِمَ يتسم الكون بهذا التجانس؟

من الظاهر لا يعد الانفجار الطريقة المثلى لخلق تمدد متناغم منظم؛ إذ إن الانفجارات عادة ما تكون فوضوية. إذا كان الانفجار العظيم غير منتظم، بحيث يفوق معدل التمدد في أحد الاتجاهات نظيره في اتجاه آخر، عندئذٍ مع الوقت سيتسم الكون بعدم التطابق في الشكل كلما زاد ابتعاد المجرات بعضها عن بعض، لكن ليس هذا ما نراه. فمن الجلي أن الانفجار العظيم كان بنفس القوة في جميع الاتجاهات، وفي جميع أنحاء الفضاء، ومتناغمًا بدرجة دقة هائلة. كان هذا سيعد لغزًا قائمًا في حد ذاته، إلا أننا حين نتذكر وجود أفق سيبدو لنا أن هذا أمر

مقصود. تخيل أن هناك منطقتين في الفضاء يقعان في جهتين متعاكستين من السماء، (أ) و(ب)، وكل منهما تبعد عن كوكب الأرض ١٠ مليارات سنة ضوئية. تبدو المنطقتان متماثلتين، وتحتويان على توزيعات متشابهة للمجرات مع إزاحات حمراء متشابهة. لكن بفعل وجودهما في أقصى طرفي الكون، يبدو لنا أن هاتين المنطقتين اللتين نراهما اليوم تفصلهما مسافة قدرها ٢٠ مليار سنة ضوئية. لكن بما أن عمر الكون أقل من ١٤ مليار سنة ضوئية، من المؤكد أن الضوء لم يملك الوقت الكافي منذ الانفجار العظيم للانتقال من إحدى المنطقتين إلى الأخرى. إن قاطن المنطقة (أ) يعجز عن رؤية المنطقة (ب)، أو حتى يعلم بوجودها، رغم أن البشر، الموجودين في منتصف المسافة بين المنطقتين، يمكنهم رؤية كلا المنطقتين (انظر الشكل ٣-٢). إن الأفق المحيط بالمنطقة (أ) لم يتمدد بالقدر الكافي كي يصل إلى المنطقة (ب). ومن البديهي أن المنطقتين (أ) و(ب) تعجز إحداهما عن معرفة وجود الأخرى. يعني هذا أنهما ذات «وجود عرضي مستقل»، فلأنه لا يمكن لشيء أو قوة السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء (انظر الإطار ١)، فلن يمكن لأي تأثير فيزيائي أن يربط بين هاتين المنطقتين. إن ما حدث في المنطقة (أ) لا يمكنه (في هذه الصورة البسيطة) التأثير على ما حدث في المنطقة (ب)، والعكس صحيح. لماذا، إذن، تبدو المنطقتان (أ) و(ب) متماثلتين؟ كيف تمكن الكون من ضبط مَوْلِده الْمُتَفَجِّر بمثل هذه الدقة بحيث لا تكون هناك أي فوارق يمكن تمييزها بين أرجاء السماء، حتى بين المناطق التي لم يحدث بينها أي تواصل عرضي؟ يبدو الأمر كما لو أن فرقة مسرحية من راقصات الباليه العمياوات والصماوات يقدمن رقصة مثالية. ولتوضيح المشكلة بشكل أكبر نقول إنه في وقت انبعاث إشعاع الخلفية الكوني، كان الكون المرصود يحتوي على ملايين النطاقات المستقلة استقلالًا عرضيًّا، ومع ذلك، كما أكدت، يتسم الإشعاع بقدر يثير الدهشة من الاتساق. كيف تعاون الكون بأكمله لتحقيق هذا الأمر؟ هل تم الأمر بمحض الصدفة؟ أم هل عملت قوة فيزيائية معينة في الكون المبكر للغاية على إحداث مثل هذه الظروف الخاصة؟

(٥) نظرية التضخم تفسر كل شيء دفعة واحدة

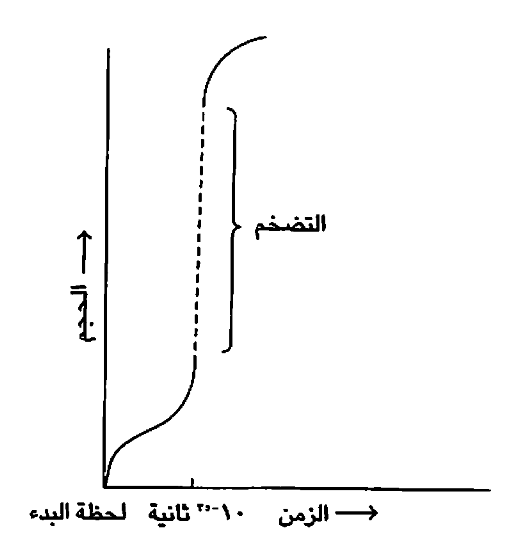
عثر آلان جوث، الفيزيائي النظري الذي يعمل حاليًّا في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، على تفسير محتمل لهذا الأمر في أوائل الثمانينيات. هذا التفسير مبني



شكل ٣-٢: أفق من؟ تبحر ثلاث سفن على خط واحد. يستطيع المراقب على السفينة ج أن يرى السفينة أ (إلى الأمام) والسفينة ب (في الخلف). بيد أن الناظر من السفينة أ يعجز عن رؤية السفينة ب، والعكس بالعكس؛ إذ إن إحداهما تقع وراء أفق الأخرى. وبالمثل، في حالة الأفق الكوني، نستطيع من الأرض أن نرى المناطق البعيدة في الكون في أقصى طرفي السماء التي يبعد بعضها عن بعض بمسافات لم يتسن للضوء بعد أن يقطعها منذ الانفجار العظيم. لذا ينبغي اعتبار هذه المناطق «منفصلة انفصالًا عرضيًّا».

على فكرة بسيطة للغاية تسمى «تضخم» الكون (ويستخدم هذا المصطلح للتمييز عن التمدد الكوني الطبيعي). في نسخة جوث الأصلية كان التضخم يسير على النحو الآتي؛ أولًا: كان هناك الانفجار العظيم التقليدي، الذي لم يحتج أن يتسم بالاتساق أو التناغم، بل كان انفجارًا فوضويًّا فقط، الغرض منه بدء الدراما الكونية. بعد ذلك، بجزء من الثانية، قفز حجم الكون بمقدار هائل للغاية (انظر الشكل ٣-٣). هائل بأي قدر؟ اقترح جوث أن تضخم الحجم بلغ على أقل تقدير $١٠^{٢٥}$ (عشرة تريليون تريليون) ضعف، وهو ما يعني أن الكون القابل للرصد قفز من حجم البروتون إلى حجم ثمرة الجريب فروت في نفس اللحظة تقريبًا. لا يهم معدل التضخم نفسه ما دام كبيرًا بما يكفي. وفي النهاية توقف هذا التضخم واستؤنف التمدد الطبيعي، مستكملًا القصة المعروفة للكون المبكر التي وصفتها مسبقًا.[3]

قريبًا سأتناول بالشرح ما يمكن أن يكون قد سبب هذا المسلك الكوني الاستثنائي، لكن دعوني أولًا أوضح كيف تحل فكرة التضخم هذه مشكلة الاتساق الكوني. إن أي موطن شذوذ أولي «سُوِّيَ» تمامًا بفعل التمدد المفاجئ، بنفس الصورة التي تختفي بها التغضنات من فوق سطح البالون المنفوخ. ومن ثم يطمس التضخم آثار أي تعقيدات سابقة ويولد كونًا متطابقًا تطابقًا طبيعيًّا. وهناك مزية إضافية؛ فمثلما يقل انحناء سطح البالون كلما انتفخ، يصير الفضاء



شكل ٣-٣: التضخم. في نظرية آلان جوث الأصلية مر الكون المبكر للغاية بفترة قصيرة من التمدد المتسارع الهائل، بحيث قفز حجمه بمعدل هائل في كسر من الثانية (الشكل التوضيحي لا يوضح النسب بدقة). وحين توقف التضخم استؤنف التمدد الطبيعي المتناقص، بما يتوافق مع النحو الموضح بالشكل ٣-١. في هذه الصورة المبسطة يبدأ الكون بانفجار تقليدي كبير، تتبعه فترة قصيرة من التباطؤ السابقة على مرحلة التضخم. ومع هذا فقد تسبب التضخم في إزالة آثار المرحلة السابقة عليه، لذا لا ينبغي أخذ هذا الجزء من المنحنى على محمل الجد.

المتضخم أقل انحناءً مع تضخمه. وإذا تضخم الفضاء بالدرجة الكافية (ومعدل $١٠^{٢٥}$ كافٍ بالفعل) فسيكون من المحال تمييزه عن الاستواء. وبهذا يفسر التضخم كلًّا من تطابق شكل الكون وهندسته المستوية أيضًا.

(٦) الجاذبية المضادة

بالصورة التي وصفت بها تضخم جوث يبدو كأنه من أعمال السحر. كان من الممكن ألا تلقى نظريته هذه أي اهتمام لو لم يقدم جوث آلية فيزيائية محل ثقة يفسر بها كيف حدث التضخم. ولحسن الحظ كان لديه مثل هذه الآلية، وقد تضمنت تعديل الدور الطبيعي الذي تلعبه الجاذبية في علم الكونيات. إن قوة الجذب الكونية تعمل على تقليل معدل تمدد الكون بشكل تصاعدي. لكن التضخم يفعل عكس ذلك

تمامًا؛ إذ إنه فترة وجيزة يتصاعد فيها معدل التمدد تصاعدًا هائلًا، مما يجعل الكون يتضخم بشكل سريع للغاية. اقترح جوث أن نوعًا من الجاذبية المضادة هو المسئول عن هذا. ليست الفكرة خيالية كما تبدو؛ إذ يتصادف أن الجاذبية المضادة جزء طبيعي من نظرية النسبية العامة لأينشتاين (انظر الإطار ٣). وفي الحقيقة تعد الجاذبية المضادة مكونًا أساسيًّا في نظرية النسبية العامة.

إطار ٣: أكبر أخطاء أينشتاين

اقترح أينشتاين نموذجه للكون المتناهي غير المحدود عام ١٩١٧، قبل أن يعلن إدوين هابل أن الكون يتمدد. على هذا فإن أينشتاين افترض أن الكون ثابت الحجم، وهو ما مثل مشكلة؛ نظرًا لأنه بدا أن الكون إذا كان ثابت الحجم فمن شأنه أن ينهار على نفسه بفعل ثقل وزنه. ما الذي سيدعم الكون أمام قوة الجاذبية العامة الموجودة بين جميع الأجسام؟ كان لدى أينشتاين إجابة عبقرية؛ إذ اقترح وجود جاذبية مضادة، أو قوى طرد كونية، تعمل على معادلة أثر قوى الجاذبية. وقد تفحص نظرية النسبية العامة بحثًا عما يثبت هذا، وبالفعل وجد أنه لو أضاف شرطًا إضافيًّا لمعادلته التي أعلنها عام ١٩١٥، فستصف النظرية «نوعين» من الجاذبية؛ قوة الجذب الطبيعية وقوة طرد، أو جاذبية مضادة. (يمكن اعتبار الجاذبية المضادة نتاجًا لطاقة الفضاء الخاوي، انظر عنوان «الجاذبية المضادة» السابق.)

لقوة الجاذبية المضادة خاصية غير عادية وهي أنها «تزيد» مع المسافة، عكس قوة الجاذبية العادية. إلا أن هذه الخاصية تحديدًا هي التي أفادت أينشتاين؛ إذ رأى أن قوة الطرد لا بد أن تكون ضعيفة للغاية في إطار النظام الشمسي، وإلا أخلت بالتوافق المبهر بين معادلته الأصلية والملاحظات الفلكية لمدار كوكب عطارد مثلًا (انظر الإطار ٢). لكن على مستوى المجرات ستصير قوة الطرد مؤثرة ويمكنها مضاهاة قوة الجاذبية. لم تشر نظرية النسبية العامة إلى مقدار قوة الطرد (يطلق عليها علماء الفيزياء «المتغير الحر»)، لذا تمكن أينشتاين من اقتراح قيمة تعادل تمامًا وزن الكون، وهذا يمنع انهياره على نفسه.

كان هذا هو الموقف عام ١٩١٧، حين نشر أينشتاين معادلته المعدلة، متضمنة الشرط الإضافي. وقد تمكن من أن يجد حلًّا للأمر يتوافق مع فكرة الكون ثابت الحجم، وذلك استنادًا إلى التوازن بين قوى الجاذبية وقوى الطرد الكونية، وكان هذا الحل هو نموذج الكرة الفائقة (انظر الفصل الثاني). في عام ١٩٣٠ سافر أينشتاين إلى الولايات المتحدة وقابل هابل، وعرف بشأن ملاحظاته التي تشير إلى تمدد الكون. أدرك أينشتاين على الفور أنه من الخطأ أن يشغل نفسه بنموذج للكون ثابت الحجم. لكن لو أنه تمسك بموقفه وعمل على معادلته الأصلية — دون شرط الجاذبية المضادة الإضافي — لكان مجبرًا على أن يستنتج أن الكون إما يتمدد أو ينكمش، وبالتأكيد كان سيفضل الخيار الأول.

في الحقيقة حل أحد العلماء الروس، ويدعى ألكسندر فريدمان، معادلة أينشتاين الأصلية عام ١٩٢١، واستقى منها عدة نماذج متمددة ومنكمشة للكون. وقد أرسل الحلول إلى أينشتاين ليعرف رأيه، إلا أن العالم العظيم لم يتحمس تجاهها، مفضلًا نموذجه للكون ثابت الحجم. ونتيجة ضيق الأفق هذا فوت أينشتاين فرصة التنبؤ بواحد من أعظم الاكتشافات في القرن العشرين، الذي كان سيقدم اختبارًا ناجحًا آخر لنظرية النسبية العامة الأثيرة لديه. وبعد أن أدرك خطأه أخيرًا، تخلى أينشتاين عن إدراج شرط الجاذبية المضادة في نظريته مسميًا إياها «أكبر أخطاء» حياته. ونتيجة لذلك ظلت فكرة الجاذبية المضادة مهجورة لعقود. وحين كنت طالبًا في الستينيات لم يكن سوى قلة من علماء الكونيات مستعدين للتحدث عنها.

لكن من عادة التاريخ أن يفاجئنا بأمور غريبة. بالطبع لم تعد هناك حاجة، بعد اكتشاف هابل، إلى الاستعانة بالجاذبية المضادة في وصف الكون ثابت الحجم، إلا أن هذا لا يعني منطقيًا أن هذه القوة ليست موجودة من الأساس، ففي أواخر التسعينيات أعلن علماء الفلك أن سرعة تمدد الكون تتزايد، وهو التأثير الذي يعزونه إلى قوة جاذبية مضادة كونية، لا يمكن تفريقها في الوقت الحالي عما اقترحه أينشتاين عام ١٩١٧. وبهذا قد يتحول خطأ أينشتاين الأكبر إلى انتصار آخر!

تخيل منطقة من الفضاء الخاوي النقي البسيط، وفق نظرية النسبية العامة يكون المسلك الطبيعي لهذه المنطقة هو التمدد أسرع وأسرع. (هناك احتمال طبيعي آخر أقل، وهو أن تنكمش.) الاستثناء الوحيد هو أن تبلغ طاقة هذه المنطقة من الفضاء «صفرًا بالضبط»؛ فوقتها ستظل خاملة. قد تتخيل أنه لو كان الفضاء خاويًا فسيبلغ مقدار الطاقة به صفرًا بالضبط، لأنه لا يوجد شيء فيه! وهو الأمر الصحيح، بشكل ما. إلا أن هذا يغفل احتمال تغلغل مجالات غير مرئية في الفضاء، مثل هذه المجالات تحتوي على طاقة. ويعتمد تأثير الجاذبية الخاص بهذه المجالات بطبيعة كل مجال منها؛ فبعض المجالات (الكهربية على سبيل المثال) ستجعل الكون ينكمش، وسيولد غيرها جاذبية مضادة تجعل الكون يتمدد. من النوع الأخير ما يسمى «المجالات القياسية» scalar fields وهذه المجالات هي ما جذبت انتباه جوث.[4] للأمانة، لم يَرصد أحد بعد أي من المجالات القياسية، لكن علماء الفيزياء لديهم أسباب منطقية وجيهة تدعم وجود مثل هذه المجالات. (يعكف القائمون على التجارب بنشاط على تتبع أحد هذه المجالات، المسمى مجال هيجز، وسوف أناقشه في الفصل الرابع.) لم يقلق جوث بشأن عدم وجود دليل تجريبي على هذه المجالات القياسية، فقد افترض وحسب أن هناك مجالًا مناسبًا

موجودًا بالفعل وأنه هو الذي تسبب في حدوث التضخم، وأطلق على هذا الكيان الافتراضي اسم «مجال التضخم» Inflation field.

لم أوضح بعد لماذا يتسبب مجال التضخم في إحداث جاذبية مضادة، وذلك لأسباب فنية نسبيًّا، لكني سأحاول توصيل الخلاصة. في نظرية نيوتن تتولد الجاذبية بفعل الكتلة، وفي نظرية النسبية العامة لأينشتاين تعد الكتلة هي الأخرى من مصادر الجاذبية، ونفس الحال ينطبق على الطاقة (تذكر أن معادلة أينشتاين «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» تخبرنا بأن الطاقة لها كتلة). بيد أن الأمر لا يقف عند هذا الحد؛ فالضغط أيضًا يعد من مصادر الجاذبية في نظرية النسبية العامة. إننا عامة لا نفكر في أن الضغط يمكنه خلق مجال للجاذبية، لكن هذا يرجع إلى أن تأثيره ضئيل في معظم الظروف. وحتى الضغط الهائل الموجود داخل الكرة الأرضية، على سبيل المثال، لا يسهم بأكثر من ميكروجرام من وزن جسمك.[5] لكن لو صار الضغط مهولًا يمكنه مقارعة الطاقة من حيث قوة الجاذبية. بكلمة «مهول» هنا نعني نوعية الضغط الموجودة داخل نجم منهار، لا بداخل أحد الكواكب. مثال آخر على هذا الأمر هو المجال القياسي؛ إذ يتمتع بضغط يساوي ما يتمتع به من طاقة.[6]

لكن لِمَ تنتج المجالات القياسية جاذبية «مضادة»؟ العامل المحوري في الأمر هو الضغط؛ إذ يكون الضغط داخل المجال القياسي سالبًا. ليس الضغط السالب بالأمر المدهش؛ فهو لا يختلف عما ندعوه في المعتاد التوتر، ومن أمثلته المألوفة الشريط المطاطي المشدود. في الفضاء ثلاثي الأبعاد سيكون لكتلة المطاط المشدودة في جميع الاتجاهات ضغط سالب. وعلى هذا يعني الضغط السالب وجود جاذبية سالبة، أي قوة جاذبية مضادة طاردة. تولد المجالات القياسية الجاذبية إذن بفضل طاقتها، لكنها جاذبية مضادة بفضل الضغط (السالب) الموجود فيها. تبين الحسابات أن الجاذبية المضادة تفوق الجاذبية العادية بثلاثة أضعاف، وبهذا يكون الأثر الصافي للمجالات القياسية هو الجاذبية المضادة.[7]

(٧) أصل المادة

بالعودة إلى قصة التضخم، اقترح جوث أنه إبان الجزء الأول الضئيل من الثانية بعد مولد الكون اخترق مجال قياسي الفضاء، مولدًا قدرًا كبيرًا من الجاذبية

المضادة وجاعلًا الكون يندفع في مرحلة من التمدد الخاطف، المتسارع أكثر وأكثر. وبعد تحديد المجال القياسي بأنه هو المتسبب في الأمر، كانت مهمته التالية هي تحديد ما إذا كان تأثير الجاذبية المضادة سيكون من الكبر بما يكفي للتغلب على الجاذبية الهائلة التي أوجدها مجموع الكتلة الطبيعية الموجود في الكون. استلهم جوث هذه الفكرة من النظريات الكبرى الموحدة Grand Unified Theories (GUTs)، وهي محاولات جرت للجمع بين ثلاث من قوى الطبيعة الأساسية. (هذا هو الموضوع الذي سأناقشه بتفصيل أكبر في الفصل الرابع، لكن يكفينا هنا أن نقول إن المجالات القياسية تلعب دورًا مهمًّا في نظريات الفيزياء الموحدة.) افترض جوث أن المجال المتضخم سيكون واحدًا من المجالات القياسية الشائعة في نظريات الفيزياء الموحدة، وهو ما أعطاه مقدارًا مهمًّا للغاية؛ قوة المجال. وبدمج قيمته في حساباته لقدر التضخم اكتشف جوث أن الجاذبية المضادة لن تعم الكون بسهولة وحسب، بل ستكون من القوة بحيث تجعل الكون يتضاعف في الحجم كل ١٠^-٣٤ ثانية (أي كل واحد على المائة تريليون التريليون التريليون من الثانية). لم يُرصد شيء في الطبيعة يحدث بمثل هذه السرعة. ولتقريب الأمر فإنه في الوقت الذي تستغرقه رقعة من الكون لتضاعف قطرها سيكون الضوء قد قطع ما لا يزيد عن تريليون التريليون من السنتيمتر، وهي مسافة لا تكفي حتى لاجتياز نواة إحدى الذرات. لقد كان تمددًا سريعًا بحق.

التضخم فكرة جذابة للغاية، وأغلب علماء الكونيات مقتنعون بها، إلا أن الجانب الأهم بها هو كيف انتهى هذا التضخم. كيف حرر الكون نفسه من ذلك التمدد السريع المهول؟ اقترح جوث أن مجال التضخم كان غير مستقر بطبيعته، وكان محكومًا عليه بالانقضاء السريع منذ البداية. وقد اقترح أنه انتهى بعد حوالي ١٠^-٣٤ ثانية، بعدها استأنف الكون تمدده المتناقص الطبيعي. لا تبدو هذه كفترة طويلة، لكنها تشبه نسبة التضخم البالغة ١٠^-٣٢ التي انتفخ الكون بموجبها بهذا الشكل الهائل. إن أي مادة كانت موجودة قبل التضخم خفّت كثافتها بشكل كبير للغاية، مما ترك الكون خاويًا من المادة خواءً فعليًّا، فهو ليس إلا فراغًا. من الواضح أن الفراغ ليس بالوصف الملائم للكون اليوم، أو حتى في عمر ثانية واحدة. من أين، إذن، أتت المادة — الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات وغيرها — فور انقضاء التضخم؟

تملك النظرية إجابة جاهزة؛ لا بد أن تجد الطاقة الهائلة المخزونة داخل مجال التضخم إبان مرحلة التضخم متنفسًا لها عند تحلل المجال، وهذا المتنفس كان في صورة حرارة. إن إشعاع الكوني الخلفي المنتشر في الكون اليوم — الوهج المتبقي من مولد الكون — يمثل بقايا طاقة مجال التضخم. وعلى هذا تحولت طاقة التمدد الهائلة إبان التضخم إلى طاقة حرارية للانفجار العظيم، طاقة لا تزال تغمر الكون في وقتنا الحالي. الخطوة الثانية هي تحويل الحرارة إلى مادة. إن معادلة أينشتاين «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» تخبرنا أنه ما دام يوجد ما يكفي من الطاقة التي تكافئ كتلة أحد الجسيمات، فالباب يصير مفتوحًا لتكوّن المادة. وبالتعويض عن قيمة سرعة الضوء في المعادلة، مع ترجمة الطاقة إلى حرارة، سنجد أن الحرارة البالغة مليار درجة مئوية — وهي حرارة الكون في عمر حوالي ثانية واحدة — كبيرة بما يكفي لتكوين الإلكترونات. وفي أوقات سابقة، حين كانت الحرارة أعلى، تكونت الجسيمات الأثقل كالبروتونات. وفي نهاية التضخم تسببت الحرارة الشديدة المنبعثة في رفع حرارة الكون إلى حوالي ألف تريليون تريليون درجة، وهو أكثر مما هو مطلوب لتكوين الـ $١٠^{٥٠}$ طن من المادة التي يحويها الكون المرصود.[8]

(٨) مشكلة الخروج بسلاسة من التضخم

كانت نظرية التضخم مثالية كالحلم، وهو نوع يندر وجوده بصفة عامة في العلم، فبضربة واحدة حلت النظرية ألغازًا عديدة عن بنية الكون، وقدمت تنبؤات محددة للغاية قابلة للاختبار. أبرز هذه التنبؤات — أن الكون ينبغي أن يكون ذا هندسة مستوية — خرج في وقت كانت الأدلة الفلكية تشير فيه إلى عكس ذلك. لكن سرعان ما أكدت مجموعة من المشاهدات، على صورة نتائج آتية من المسبار WMAP، على صحة تنبؤ استواء الكون، مقدمة دعمًا كبيرًا لنظرية التضخم.

فور أن دخلت الفكرة العامة للتضخم علم الكونيات صارت جزءًا أصيلًا منه. إلا أن نظرية جوث الأصلية احتوت على عيب خطير؛ ما يسمى بمشكلة الخروج السلس. إن تحلل مجال التضخم عملية كمية، وبهذا يكون حدوثها رهنًا للتفاوتات الكمية Quantum fluctuations التي لا يمكن التنبؤ بها عادة. ونتيجة لذلك سيحدث التحلل في أوقات مختلفة وفي أماكن مختلفة، على صورة فقاعات موزعة

توزيعًا عشوائيًا – فقاعات من الفضاء يتحلل فيها مجال التضخم – محاطة بنطاقات من الفضاء لم يحدث فيها التحلل بعد. ستظل الطاقة المحررة من مجال التضخم المتحلل حبيسة جدران هذه الفقاعات، وعند اصطدام الفقاعات بعضها ببعض ستتحرر هذه الطاقة، على صورة حرارة، إلا أن هذه العملية ستكون فوضوية بالكامل وستولد مقدارًا من عدم التجانس مماثلًا للذي عمل التضخم على إزالته سابقًا. عمل كثير من علماء الكونيات، الذين رأوا أن فكرة التضخم لا بديل عنها، على حل هذه النقائص.[9] وكان الحل هو إيجاد نظام نظري يجنب الفقاعات الاصطدام بعضها ببعض ويمكنها من أن تنمو إلى حجم أكبر بكثير من الكون القابل للرصد. أحد طرق عمل ذلك، وهو ما يطلق عليه آلية التضخم الأبدي Eternal Inflation، له علاقة مهمة بموضوع ملاءمة الكون للحياة، وسوف أتعرض له بالشرح المفصل.

(٩) تموجات من حافة الزمان

إذا تسبب التضخم في تمدد الفضاء بمعدل هائل فقد نتوقع أن يكون الكون فائق التجانس في النهاية. لكن لو كان الحال كذلك لما باتت هناك إمكانية لظهور الحياة؛ فبدون المجرات والنجوم ستكون الحياة مستحيلة. إن التموجات الحارة والباردة التي تظهر في إشعاع الخلفية الكوني في الشكل ٢-١ هي بذور بنية عظيمة الحجم. لكن من أين أتت هذه التفاوتات؟ كيف أنتج التضخم كونًا متجانسًا تجانسًا شبه مثالي، لكن ليس متجانسًا بالكامل؟

كانت هناك إجابة مقنعة – رغم أنها قد لا تكون الإجابة الصحيحة – تفرض نفسها بالفعل وقت ظهور نظرية التضخم. بل في حقيقة الأمر ظهرت الإجابة قبل ظهور النظرية إلى النور. يبدو أن سبب هذه التموجات الكونية يكمن في ثنايا ميكانيكا الكم. إن القراء الذين يملكون فكرة أساسية عن ميكانيكا الكم سيدركون أن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج يرشدنا إلى وجود تفاوتات غير قابلة للخفض في جميع الكميات المادية (أما القراء الذين لا يملكون فكرة عن ميكانيكا الكم فسيجدون ملخصًا سريعًا عن هذا العلم في الإطار ٤). وبتطبيق مبادئ ميكانيكا الكم على التضخم يمكننا التنبؤ بأن بعض مناطق الكون ستتضخم تضخمًا أكبر أو أصغر بقليل من غيرها من المناطق، وبهذا تنتج بنية متماوجة مطبوعة على

التجانس الكلي للكون. عادة ما تقتصر تفاوتات ميكانيكا الكم الواضحة على المستوى الذري. لكن إذا كان تفسير التموجات الكونية صحيحًا، فإن التفاوتات التي تحدث على المستوى الذري تعرضت لتضخم هائل وامتدت لتشمل السماء بأسرها.

إطار ٤: غرابة ميكانيكا الكم

إن فيزياء القرن العشرين مبنية على نظريتين ثوريتين؛ النسبية وميكانيكا الكم. وهما تشكلان ركيزتين أساسيتين يستند عليهما وصفنا للكون. بدأت ميكانيكا الكم كنظرية للمادة على المستويين الذري ودون الذري، لكن أغلب الفيزيائيين يؤمنون أنها تنطبق على كل شيء، بما في ذلك الفضاء والزمان، على جميع المستويات. ومع ذلك فإن الآثار الجلية لميكانيكا الكم تتبدى بالأساس على المستوى الميكروسكوبي. (الاستثناء الملحوظ لهذا هو البنية الضخمة للكون، الظاهرة للعيان دون شك!)

بدأت نظرية الكم عام ١٩٠٠ حين اقترح ماكس بلانك أنه حين ينبعث الإشعاع الحراري من جسم ساخن، فسيخرج فقط على صورة حزم منفصلة صغيرة، أو «كموم». توسع أينشتاين في هذه الفكرة بحيث تشمل فوتونات الضوء، التي عاملها كما لو كانت جسيمات ضئيلة. ومع ذلك، فإن الإشعاع الكهرومغناطيسي كالحرارة والضوء معروف عنه أيضًا أنه يتصرف كالموجات، وعلى هذا ألمحت تلك الأفكار الكمية المبكرة، على نحو مستغرب، إلى أن الضوء يمكن أن يتصرف كالجسيمات وكالموجات في الوقت ذاته، وهو ما سبب الكثير من الارتباك. في العشرينيات وُجد أن جسيمات المادة على غرار الإلكترونات يمكنها أن تظهر هي الأخرى خصائص موجية. وقد صار جليًّا أن الطبيعة الفعلية للمادة على المستوى الذري تتسم بالغرابة وأن ازدواجية الجسيم/الموجة كانت ملمحًا أساسيًّا للمادة. إن الجانب الذي تظهره المادة — الموجي أو الجسيمي — كان يعتمد على التجربة المجراة أو الملاحظة المرصودة. ليس من الممكن أن نحدد بشكل عام هل الفوتون أو الإلكترون (أو البروتون أو النيوترون ...) هو في «حقيقته» موجة أو جسيم؛ لأنه قادر على التصرف كالاثنين.

يرتبط بهذا الإبهام أحد المبادئ الأساسية التي تقوم عليها ميكانيكا الكم ويسمى «مبدأ عدم اليقين» لهايزنبرج Heisenberg's Uncertainty Principle. يمنع هذا المبدأ أي جسم كمي من امتلاك مجموعة كاملة من الخصائص الفيزيائية في أي وقت بعينه. في الحياة العادية يمكننا أن نعزو لأي جسم، كرة مثلًا، عددًا من الخصائص على غرار الموضع والسرعة ومعدل الدوران والطاقة. تحمل الجسيمات دون الذرية، كالإلكترونات، خصائص مماثلة، لكن لا يمكنها جميعًا أن تأخذ قيمًا محددة في الوقت ذاته. قد نستطيع تحديد موضع أحد الإلكترونات في نقطة محددة من المكان، وبهذا ننسب له موضعًا محددًا، لكن وقتها، وفق مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، لا يمكننا أيضًا أن نحدد حركته تحديدًا قاطعًا.

وبالمثل، قد نحدد سرعة الإلكترون، لكن لن نستطيع وقتها تحديد موضعه بدقة. إن مقدار هذا التفاوت ليس اعتباطيًّا، بل هو محدد بدقة وفق مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. إن مقدار عدم اليقين الكمي هذا واضح بصورة جلية على المستويات الذرية ودون الذرية للجسيمات، بيد أنه يصير أقل أهمية بكثير في أنظمة أكبر حجمًا أو أكثر تعقيدًا. إن التأثيرات الكمية محددة وفق معامل ثابت يعرف بـ «ثابت بلانك»، ويرمز له بالحرف (h). وهو أحد ثوابت الفيزياء إلى جوار سرعة الضوء (c) وثابت الجاذبية لنيوتن (G) (انظر الإطار ٦).

أغلب الفيزيائيين يرون أن عدم اليقين الكمي سمة متأصلة في المادة وليس راجعًا إلى الجهل البشري أو الخطأ في القياس. يمكن التعبير عن ذلك بأن نقول إنه حتى الإلكترون نفسه غير متيقن من خصائصه. وعلى هذا لا يمكن تحسين عدم اليقين الكمي عن طرق «النظر بجدية أكبر»، وهو في هذا الصدد يعد على النقيض من الصدفة العشوائية الموجودة في لعبة الروليت مثلًا أو حركة أسهم سوق المال، فأسعار الأسهم المتقلبة لها أسبابها الكامنة، وإذا بدا لنا أنها تتحرك حركة عشوائية لا يمكن التنبؤ به فهذا يرجع إلى أن البشر لا يملكون كل المعلومات التي يحتاجونها لحساب كيفية تقلبها. على العكس، لا يمكن تفتيت العشوائية الكمية، بمعنى أن العمليات الكمية عفوية بصورة ما؛ أي تحدث دون سبب محدد.

من الممكن أحيانًا تصور عدم اليقين الكمي، من خلال خاصية التفاوتات. يمكن أن يفكر المرء في إحدى الخصائص، مثل موضع الإلكترون، على أنها تتسم بالتفاوت؛ حيث يتذبذب الإلكترون بحرية بصورة غير متوقعة. جميع الكميات القابلة للقياس عرضة للتفاوتات الكمية، وذلك حتى الحد الذي قرره مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. من تبعات ذلك أنه يمكن لموقفين متماثلين أن يأتيا بنتائج مختلفة تمامًا. على سبيل المثال، تخيل إطلاق أحد الإلكترونات مباشرة صوب إحدى الذرات، قد يرتد عنها إلى اليمين أو اليسار باحتمالات متساوية. فإذا أجريت التجربة اليوم فقد يرتد إلى اليسار، لكن من الممكن أن تجري التجربة غدًا، تحت ظروف مماثلة، ويرتد الإلكترون وقتها إلى اليمين.

مع أن نظرية ميكانيكا الكم يمكنها تقديم الاحتمالات الأكثر ترجيحًا، فإنه على وجه العموم لا يمكن للمرء أن يعرف مقدمًا ما سيحدث في كل حالة بعينها. من الأمثلة الشهيرة لذلك النشاط الإشعاعي. إن ذرة اليورانيوم غير مستقرة وتتحلل عبر فترة تقدر بمليارات السنوات. كل ذرة لها احتمال للتحلل في إطار فترة زمنية معينة، من خلال عملية كمية عشوائية، إلا أنه من المحال أن نعرف مقدمًا متى تتحلل ذرة بعينها. وبالمثل، عندما تطلق ذرة غير مستقرة فوتونًا، يكون للعملية إجمالًا احتمالية معينة، ومع ذلك يستحيل التنبؤ بأي حدث بعينه بشكل محدد. ينطبق عدم اليقين الكمي ليس فقط على الجسيمات، بل على المجالات أيضًا، وبذلك نجد أن المجال الكهرومغناطيسي، مثلًا، عرضة للتفاوتات في شدته، حتى في الفراغ التام الذي تكون فيه قوة المجال «بالتقريب» صفرًا. يمكن وصف تفاوتات الفراغ هذه من خلال «الفوتونات الافتراضية» التي تظهر بصورة عفوية ثم تختفي في

الفضاء الفارغ (انظر مناقشة الجسيمات الافتراضية في الفصل الرابع). يتضح لنا أن تفاوتات الفراغ ضرورية لفهمنا للطاقة المظلمة والجاذبية المضادة، التي يعتمد عليها مصير الكون بأكمله. إن عدم الحتمية المتأصلة في الطبيعة هي التي دعت أينشتاين — الذي كان يكره ميكانيكا الكم — لأن يقول (وقد جانبه الصواب): «إن الله لا يلعب النرد بالكون».[10]

لميكانيكا الكم العديد من الخصائص الغريبة، على سبيل المثال، هي تتنبأ بأن الجسيمات لها لف مغزلي ذاتي، وهذا اللف المغزلي يكون له عدد ثابت من الوحدات الأساسية ويمكنه أن يتم فقط في اتجاهات بعينها. أيضًا بإمكان الجسيمات الكمية النفاذ من حواجز القوة، أو الالتفاف حول الزوايا، أو الوجود في أكثر من مكان في نفس الوقت. بعض من هذه الخصائص لها أهمية في قصة الكون، خاصة الكون المبكر للغاية.

في الواقع قمت ببعض الأبحاث على هذا الموضوع بنفسي في السبعينيات عندما كنت في قسم الرياضيات بكلية كينجز كوليدج بجامعة لندن محاولًا فهم التأثيرات الكمية في بيئات كونية متباينة. كان هناك إحساس عام بأنه رغم أن ميكانيكا الكم لا تتصل اتصالًا مباشرًا بديناميات الكون اليوم، فإنه من المؤكد أنها لعبت دورًا مهمًا قرب نشأة الكون، حين كان الكون في حالة مضغوطة. ساعدني في عملي هذا طالب يدعى تيم بانش، وقد قررنا أن ننظر إلى التأثيرات الكمية في كون يتمدد بنسبة أسّية، بمعنى أنه يتضاعف في الحجم على مدار فترات زمنية ثابتة. وقد اخترنا هذا النموذج للكون، والمعروف لعلماء الفلك باسم فضاء دي سيتر، على اسم أول من وصفه على هذا النحو ويليام دي سيتر عام ١٩١٧، ليس لأننا رأينا أن الكون يشبهه، بل لأنه باستخدام هذا النموذج سنتمكن من حل المعادلات بدقة تامة. وفي الفيزياء النظرية يساوي الحل الدقيق الواحد مئات من التقريبات العددية.

لذا قررنا تطبيق النظرية الكمية في فضاء دي سيتر. وجدنا أنها لا تؤثر مطلقًا في كثير من الجوانب، وهو ما لم يمثل لنا أي مفاجأة وقتها لأن أغلب الحسابات بينت أن تمدد الكون يجعل الجسيمات (أو الكموم) مثل الفوتونات توجد عمومًا في فضاء خاو، أي توجد من الفراغ.[11] يحدث هذا لأن التمدد يقلقل أو يستثير أي مجالات، كالمجالات الكهرومغناطيسية، تنتشر في الفضاء. عادة ما يكون هذا التأثير ضئيلًا، مع أنه ربما كان مهمًا بعد الانفجار العظيم مباشرة. على أي حال، وجدنا أنه في فضاء دي سيتر لم يكن هناك مثل هذا الإنتاج للجسيمات، وهي نتيجة عجيبة يمكن إرجاعها إلى الطبيعة الأسّية للتمدد وما تتضمنه من تماثل في الزمكان.

لكن هذا لا يعني أن تمدد الفضاء في نموذج دي سيتر ليس له تأثيرات كمية على الإطلاق؛ إذ إن له تأثيرات بالفعل. وعلى وجه الخصوص كانت حالة الفراغ لفضاء دي سيتر لا تزال عرضة للتفاوتات الكمية التي يمكن النظر إليها عمومًا على أنها جسيمات تُخلق لكن سرعان ما تُدمَّر ثانية، تظهر للوجود ثم تزول في رقصة خاطفة (يُطلق عليها الجسيمات الافتراضية، انظر الفصل الرابع). لا توجد بعد زيادة أو نقصان في الجسيمات، لكن يوجد الكثير من النشاط الكمي العابر.

حين كنا نقوم بهذا العمل في أواخر السبعينيات، لم تكن لدينا فكرة أنه في غضون سنوات قلائل سيكون هذا هو المطلوب تحديدًا لوصف تفاوتات الكثافة في الفضاء المتضخم. ولحسن الحظ اتضح أن النموذج الذي اخترناه — فضاء دي سيتر — هو الوصف الدقيق للصورة التي يسير عليها الكون وهو يتضخم. كنا قد اخترنا نموذج دي سيتر لسبب آخر أقل أهمية؛ لمساعدة تيم على الحصول على درجة الدكتوراه دون الحاجة لاستخدام الحاسب الآلي لإتمام الحسابات! وهذه هي الصورة التي تسلكها مسيرة العلم.

(١٠) ماذا حدث قبل الانفجار العظيم؟

أغلب الناس مستعدون للقبول بفكرة أن الكون الذي نعرفه بدأ بصورة مفاجئة بانفجار هائل، إلا أنهم في نهاية المطاف يسألون سؤالين مرتبطين بالموضوع، وإن كانا صعبي الإجابة، وهما: ما الذي سبب الانفجار العظيم؟ وما الذي كان موجودًا قبله؟ دائمًا ما تأسر الأسئلة الخاصة بنشأة الأشياء الألباب، وفي هذا الصدد لا يوجد ما قد يضاهي نشأة الكون نفسه. إن التفكر في نشأة الأشياء يشبه التأمل في فلسفات الزن البوذية؛ فكيف يأتي شيء للوجود وهو لم يكن موجودًا من قبل؟ هنا يبدو نوع واحد من التفسيرات هو المرضي؛ أن الكيان الجديد لا بد أنه قد نتج بشكل ما عن تغير في كيان آخر مختلف سابق عليه. وكما قال لوكريتوس:[12] «لا شيء يأتي من العدم.» وربما يكون المكافئ الحديث لهذه العبارة هو «لا يوجد ما يسمى بالغداء المجاني». ربما يكون هذا صحيحًا، لكن حين يكون الكيان المعني هو الكون بأكمله، ربما لا تصف هذه المقولة الحكيمة الأمر بدقة؛ إذ إن بعض علماء الكونيات، على الأقل، يؤمنون بأن الكون قد يكون أكبر غداء مجاني وُجِدَ على الإطلاق.

هل يمكن لنظرية التضخم الكوني أن تساعدنا على فهم أسباب الانفجار العظيم؟ الإجابة بنعم ولا. التضخم بطبيعته يمحو كل ما كان موجودًا قبله، وهذه نقطة محورية. اعتاد فريد هويل، الذي ذكرت من قبل أنه كان ينتقد فكرة الانفجار العظيم بأسرها، أن يقول ساخرًا إن نظرية الانفجار العظيم تخبرنا وحسب أن الكون على النحو الذي هو عليه لأنه كان على النحو الذي كان عليه. في أيام النظرية الأولى ربما كان هذا صحيحًا؛ إذ كان الانفجار العظيم نفسه دون تفسير: ليس إلا حدثًا مُفترضًا لتفسير الحقائق، لكن ليس له مسببات واضحة ويبدو واقعًا خارج نطاق العلم تمامًا. لتفسير الكون الذي نرصده كان من الضروري أن نضع في هذه النظرية الظروف الأولية التي من شأنها أن تقودنا لما نراه اليوم، دون أي تبريرات. ويمكن للمرء أن يضع أي ظروف أولية بحيث يحصل على توصيف لأي كون يختاره. إلا أن التضخم يعالج تلك المشكلة بتمكيننا من تفسير الكثير من الملامح الأساسية للكون بوصفها نتاجًا لعمليات فيزيائية وقعت إبان التضخم بدلًا من عزوها إلى ظروف الحالة الأولية للكون. لكن رغم وجاهة هذا المنطق فإن به عيبًا خطيرًا؛ إذ يبدو كأنه يضع المنشأ «الأوَّلي» للكون بعيدًا عن متناول يدنا. من ناحية أخرى، فإن نفس النظرية التي تصف التضخم يمكنها أن تعطينا تلميحات عن الكيفية التي بدأ بها التضخم في المقام الأول، ويمكنها أن تقدم لنا إشارات بشأن الحالة الفيزيائية التي سبقته.

دعني أتعامل مع هذا الموضوع خطوة بخطوة. إن النقاشات عن منشأ الكون معروف عنها الصعوبة بالفعل، لذا أود التوغل في هذا الأمر بحرص كيلا أزيد الأمر حيرة. وسأبدأ بتجاهل التضخم لحظة وتبني نموذج من الواضح أنه غير صحيح للكون؛ الكون ككرة تامة الاستدارة من المادة والمحاطة بفراغ لانهائي. نحن نعلم أن الكون يتمدد، لذا ينبغي أن تكبر الكرة في الحجم مع الوقت. في الماضي كانت الكرة أصغر حجمًا. وإذا عكسنا التمدد لفترة ١٣٫٧ مليار عام فستنكمش الكرة إلى نقطة وحيدة، نقطة وحيدة لا حجم لها. وبعد ذلك ...؟ لا شيء، تختفي الكرة! أعد عرض الشريط إلى الأمام، وسيظهر الكون من لا شيء في نقطة وحيدة، ثم ينتفخ، وفي النهاية يتمدد ليأخذ أبعاده الكونية. لنتدبر الآن ما تعنيه كلمة «لا شيء» في الوصف السابق. من الجلي أنها تعني الفضاء الخاوي. إذا كان التوصيف السابق بشأن نشأة الكون صحيحًا فسنواجه معضلة كبيرة. ما الذي يجعل كرة من المادة تظهر بغتة من العدم، في لحظة معينة من الزمن وفي موضع محدد من

الفضاء الموجود سلفًا، في حين لم يحدث هذا على طول الزمن حتى تلك اللحظة؟ ما الذي جعل هذا يحدث؟ وفي هذا الوقت والمكان؟ لا توجد إجابة مرضية.

واجه علم اللاهوت المسيحي معضلة شبيهة بهذه؛ إذ كان غير المؤمنين يقولون: «ما الذي كان الإله يفعله قبل أن يخلق الكون؟» فإذا كان الإله موجودًا طوال الأزل، كما رأى علماء اللاهوت، فلا شيء يميز تلك النقطة المحددة التي خلق فيها الكون عن غيرها. بالطبع كانت هناك إجابة بارعة لمثل هذا السؤال تقول: «كان منشغلًا بخلق الجحيم لأمثالكم!» إلا أن للفكرة وجاهتها؛ إذ إنها تمس فكرة التناقض بين الزمن المحدود والخالق غير المحدود بزمن. قدم أوجستين إجابة ذكية لهذه المعضلة، وذلك حين أوضح أن المشكلة لا تكمن في طبيعة الذات الإلهية، بل في طبيعة الزمن نفسه.

(١١) الخلق من العدم

سأعطيك إجابة أوجستين بعد قليل، لكن دعني أولًا أتدبر نموذجًا أكثر واقعية للانفجار العظيم. ليس الكون كرة من المادة محاطة بفضاء خاوٍ، كما أسهبت في الشرح في الفصل الثاني، بل إن «سطح» الكرة يبدو كأنه التمثيل الأصلح للفضاء نفسه. تذكر التنبيه المهم هنا: الفضاء ثلاثي الأبعاد، لكن سطح الكرة ثنائي الأبعاد. وعلى هذا يكون سطح الكرة تشبيهًا ضمنيًّا، وليس توصيفًا دقيقًا؛ فالجزء الداخلي من الكرة والفضاء المحيط بها ليسا جزءًا من الكون المادي الذي نناقشه هنا، بل هما يستخدمان فقط لتسهيل عملية التصور. بعض الناس يستسلمون عند هذه النقطة لأنهم يعجزون عن تصور السطح الكروي (الكرة الفائقة) ثلاثي الأبعاد، لكني أحثك على أن تبقى معي.

مجددًا، دعونا نعد عرض الفيلم إلى الوراء: ينكمش سطح الكرة نحو مركزه إلى أن تلتقي جميع النقاط في نقطة واحدة، ثم بعد ذلك ... لا شيء. لكن في هذه الحالة ليس الـ «لا شيء» فراغًا محيطًا؛ لأن الفضاء الوحيد الموجود — الفضاء المادي — ممثل في «سطح» الكرة، وهذا بدوره اختفى تمامًا. إذن في هذه الحالة فإن الـ «لا شيء» الموجود قبل الانفجار العظيم هو في الواقع «لا شيء» بالفعل، لا مادة ولا فضاء؛ عدم تام.

يتكون الكون الحقيقي، بالطبع، مما هو أكثر من الفضاء المتمدد؛ فهناك المادة أيضًا. ينضغط الكون إلى حجم يبلغ الصفر، وتصير كثافة المادة لانهائية،

ويكون هذا هو الحال سواء كان الفضاء متناهيًا أو غير متناهٍ؛ ففي كلتا الحالتين يوجد انضغاط لانهائي للمادة إلى كثافة لانهائية. في نظرية النسبية لأينشتاين، المبني عليها هذه المناقشة بأسرها، تحدد كثافة المادة (إلى جانب الضغط) مدى تقوس أو تشوه شكل الزمكان. وإذا طبقنا نظرية النسبية بحذافيرها، وصولًا إلى حالة الكثافة اللانهائية، فستتنبأ النظرية بأن تقوس الزمكان ينبغي هو الآخر أن يكون لانهائيًّا. يطلق الرياضيون على حد تقوس الزمكان اللانهائي هذا نقطة «التفرد» Singularity. في هذه الصورة، إذن، ينشأ الانفجار العظيم من نقطة تفرد. إن أفضل سبيل لتصور نقاط التفرد الزمكانية هو بوصفها تخومًا أو حوافَّ للزمكان. ومن هذا المنطلق لا تعد نقاط التفرد هذه جزءًا من الزمكان نفسه، تمامًا مثلما لا تعد حافة هذه الصفحة جزءًا منها.

وعلى هذا تكون اللحظة الأولى للكون — في هذه الصورة مفرطة التبسيط — ليست لحظة أو مكانًا على الإطلاق، بل «حدًّا» للحظات والأماكن. قد يبدو حديثي هذا مغرقًا في التفلسف، إلا أن من الخصائص المهمة لهذا الحد هو أنه إشارة تحذير على أنه «لا يوجد ما وراء ذلك!» إن حد الزمكان يقول إنه من المحال اجتيازه. هذا أمر متوقع؛ فحين تشتمل نظرية فيزيائية على كمية لانهائية تتحلل المعادلة ولا يصير بمقدورنا الاستمرار في تطبيقها، فالتفرد في نظرية الانفجار العظيم هو إذن الحد الذي تقول فيه نظرية النسبية: «اللانهاية؟ سُحقًا! أنا أستسلم!» ومن ثم يتوقف كل من الزمان والمكان. ليس التفرد الزمكاني مفهومًا تقنيًّا غير معروف. لقد صنع كل من روجر بنروز وستيفن هوكينج اسميهما في عالم الفيزياء النظرية عن طريق إثبات عدد من نظريات التفرد الزمكاني في الستينيات باستخدام أساليب رياضية بارعة. وكرس بعض زملائي حياتهم المهنية بالكامل لدراسة التفرد الزمكاني، بل وصل الأمر إلى أن هذا الموضوع وجد طريقه إلى حلقة مبكرة من حلقات مسلسل الخيال العلمي البريطاني الشهير «دكتور هو».

قلت إنه لا يمكن الاستمرار في الزمكان «ما وراء» إحدى نقاط التفرد. على وجه الدقة، لا يوجد ما يمنع الزمكان من أن يوجد على الجانب الآخر من نقطة التفرد، بمعنى أنه يمكننا تخيل الانضمام إلى زمكان آخر عند نقطة التفرد الخاصة بالانفجار العظيم من الجانب الآخر. إلا أن هذا لن يكون له مبرر؛ فلأن نقطة التفرد تمثل الذروة اللانهائية للتقوس والكثافة، ونهاية للنظرية الفيزيائية الأساسية التي تصف كل هذا، لا يمكننا الافتراض بأنه بمقدور أي جسم أو تأثير

مادي أن يخترق إحدى نقاط التفرد، وبهذا لا يوجد سبيل لمعرفة هل يوجد أي شيء على الجانب المقابل أم لا. أيضًا لا يمكننا أن نولي فكرة وجود شيء ما على الجهة المقابلة أهمية كبيرة، فعلى أي حال لن يكون الزمان أو المكان الموجودان هناك «زماننا ومكاننا»، وبهذا يكون القول إن الزمكان «الآخر» وُجِدَ «قبل» الانفجار العظيم أمرًا غير ذي أهمية. وإذا كان ذلك «الزمكان السابق» لا يحمل أي تأثير فيزيائي على كوننا، فلا جدوى إذن من افتراض وجوده من الأساس.

(١٢) الانفجار العظيم كمنشأ للزمن ذاته

للمناقشة السابقة علاقة بمفهوم مغلوط شائع آخر. لقد وصفت نقطة التفرد في الشرح السابق الذي أعدنا فيه الفيلم الكوني إلى الخلف بوصفها «نقطة زوال» الكون. لكن لِمَ يجب على الكون أن يزول؟ ألم يمكن لنقطة التفرد أن تظل ساكنة في موضعها؟ عند عرض الفيلم للأمام ثانية سنجد نقطة التفرد — فكر فيها بوصفها نقطة من الكثافة اللانهائية لو أحببت، نواة كونية لا حجم لها أو بنية — موجودة على طول الزمان، و«انفجرت» فجأة! في هذه الحالة لا يمكننا أن نسمي ما كان موجودًا قبل الانفجار العظيم بأنه «لا شيء»، بل هو في الواقع «نقطة تفرد». تتبنى بعض التفسيرات الشائعة لنشأة الكون هذه الفكرة المثيرة للجدل. ومع ذلك فهي لن تفيدنا. إن نظرية النسبية تربط المكان بالزمان معًا كي يكونا الزمكان، فلا يمكن أن يكون لدينا زمان دون مكان، أو مكان دون زمان، لذا، إذا لم يكن بالإمكان استمرار المكان وصولًا إلى نقطة التفرد السابقة على الانفجار العظيم فلن يستطيع الزمان ذلك بدوره. لهذه النتيجة معنى ضمني خطير للغاية؛ فإذا كان الكون محدودًا بنقطة تفرد سابقة فالانفجار العظيم إذن لم يكن أصل المكان وحسب، بل «أصل الزمان» أيضًا. أكرر: الزمان نفسه بدأ مع الانفجار العظيم. تخلصنا هذه النتيجة من ذلك التساؤل المربك عما حدث قبل الانفجار العظيم. فإذا لم يكن هناك زمان قبل الانفجار العظيم يصير هذا السؤال بلا معنى. وبنفس الصورة، لن تكون التخمينات بشأن ما «سبب» الانفجار العظيم منطقية؛ لأن المسببات عادة ما تسبق الآثار في الترتيب الزمني. وإذا لم يكن هناك زمان (أو مكان) قبل الانفجار العظيم توجد فيه القوة المسببة فلا يمكننا إذن تحديد مسبب «مادي» للانفجار العظيم.[13]

عادة ما يشعر الناس بالانخداع حين يقال لهم هذا، وأحيانًا ما تثور ثائرتهم حيال هذا الأمر، كما لو أن المناقشة بأكملها ما هي إلا لعب ماكر بالكلمات يجري على يد علماء مخادعين لا يهدفون إلا لإثارة حيرة من ينتقصون من قدرهم. يقول الساخرون: إن علماء الكونيات يتجنبون إعطاء إجابة صريحة بشأن ما حدث قبل الانفجار العظيم لأنهم لا يعرفون، ولا يريدون أن يقروا بذلك. صحيح أن علماء الكونيات لا يعرفون الإجابة، لكن هذا ليس لأنهم عاجزون عن التفكير في احتمالات ممكنة. عادة تسير حجة المنتقدين على النحو الآتي: كيف يمكن أن يبدأ الزمان بهذه الصورة المباغتة؟ لا بد أن شيئًا ما سبق وجود الانفجار العظيم. من الصحيح أننا نجد صعوبة في تتبع تاريخ الكون إلى نقطة أبعد وأبعد يتوقف فيها الزمان وحسب، إلا أن هذه الفكرة ليست بفكرة سخيفة أو جديدة. لقد توصل أوجستين إليها في القرن الخامس الميلادي. لقد كانت إجابته على التساؤل الخاص بماذا كان الله يفعل قبل خلق الكون هي: «لقد خُلق العالم مع الزمان، لا في الزمان.»[14] إن أوجستين يرى أن الله يسمو فوق الزمان، وأنه هو الذي خلق الزمان مثلما خلق المكان والمادة. بهذه الصورة تجنب أوجستين بمهارة مشكلة سبب حدوث الخلق في تلك اللحظة وليس في لحظة أخرى سابقة عليها؛ إذ إنه لم تكن هناك لحظات سابقة من الأساس. نفس التفكير المنطقي ينطبق على المشكلة العلمية؛ فإذا نشأ الكون «في الزمان» فلا يمكن أن تكون قد تسببت فيه أي عملية فيزيائية محدودة، لأنه لو حدث هذا لكان الانفجار قد حدث منذ زمن بعيد لانهائي. من ناحية أخرى، إذا نشأ الكون «مع الزمان» فلن يكون لهذه المعضلة وجود.

أحيانًا ما أُسأل عما إذا كانت عبارة أوجستين المتبصرة تعني أنه تلقى وحيًا إلهيًّا بشأن نشأة الكون. حسن، لو كان قد كتب معادلات أينشتاين بدلًا من الاكتفاء بهذه العبارة الدرامية، كنت سأصدق ذلك. في الحقيقة، لم يكن هو حتى أول شخص فطن لفكرة أن الزمان خُلق مع الكون؛ إذ تحدث أفلاطون بفكرة مشابهة قبله بمئات الأعوام. إن تاريخ الفلسفة غني ومتنوع حتى إنه سيكون من المثير للدهشة لو ظهرت نظريات علمية لم يكن أحدهم قد تفكر فيها بشكل مبهم من قبل. إن أهم ما في عمل أينشتاين هو أنه أوضح بطريقة محددة قابلة للاختبار، باستخدام نظرية رياضية مفصلة، كيف أن الزمان والمكان «جزءان من» الطبيعة، وليسا مجرد ساحة تُعرض فيها دراما الطبيعة العظيمة. يعني هذا أننا لو حاولنا تفسير نشأة الكون المادي فلن يكون لدينا خيار سوى تفسير نشأة

الزمان والمكان أيضًا. وبهذا يكون جليًا أن الزعم بأن الزمان بدأ مع الانفجار العظيم هو نقطة البدء الصحيحة.

(١٣) هل كان الانفجار العظيم في حقيقته ارتدادًا عظيمًا؟

هناك اعتراض أكثر جدية على الوصف الذي قدمته إلى الآن، وهو يتلخص في أنني افترضت أن الكون ذو شكل منتظم مثالي وأنه مليء بمادة متجانسة الكثافة. من الواضح أن هذا افتراض مبالغ في المثالية. تخيل أن كرة مشوهة الشكل تنكمش دون حدود. هذه المرة لن تتجمع النقاط المختلفة المنتشرة على سطح الكرة بصورة أنيقة منظمة في نقطة واحدة، ما لم تتحرك بمعدلات متباينة وتتفق على أن تلتقي في المركز في نفس اللحظة. هل من المرجح حدوث هذا؟ كلا، إن الجزيئات غير المنتظمة المتحركة وفق معادلات النسبية العامة لن تتجمع في العموم في نقطة واحدة، بل الأرجح أن يخطئ بعضها بعضًا. ماذا سنرى إذن حين نعرض الفيلم الكوني بشكل معكوس، ونشاهد أجزاءه وهي تفشل في الالتقاء معًا ثم نواصل العرض؟ ما سنجده هو أن المكونات المتجمعة ستدخل في حالة من الهرج ثم تبدأ في التباعد بعضها عن بعض مجددًا. إن عرض الفيلم الكوني للأمام من نقطة بعيدة في الماضي سيكشف لنا عن وجود كون ينكمش من حجم كبير، ثم ينهار بعنف إلى كثافة مرتفعة للغاية، ثم يفور مرة ثانية. لقد حل الارتداد العظيم Big Bounce محل الانفجار العظيم.

هل يمكن أن يكون الكون الفعلي على هذا النحو؟ من الناحية المنطقية لا يوجد ما يمنع ذلك، إلا أن هذا سيثير عددًا من المشكلات العلمية. أول هذه المشكلات هي أننا بدلًا من مشكلة: لماذا حدث الانفجار العظيم؟ جئنا بمشكلة أخرى هي: لماذا كان هناك كون منكمش، جميع أجزائه في أماكنها الصحيحة، وتتحرك معًا بصورة سليمة كي تلتقي في تجمعات كثيفة وتحاكي الانفجار العظيم؟ كيف أتى هذا الكون المنكمش إلى الوجود من الأساس؟ إن الرد بأنه «كان موجودًا على الدوام» ليس بالجواب الوافي. إننا لا نفسر وجود الشيء بقولنا إنه كان موجودًا على الدوام. من التنويعات على هذه الفكرة نماذج الكون الدوري أو ذي الارتدادت المتعددة، الذي فيه يتمدد الفضاء نتيجة انفجار عظيم، ويصل إلى نقطة قصوى، ثم ينكمش ثانية في ارتداد عظيم، ويطلق موجة ثانية من التمدد، ثم الانكماش، وهكذا، بلا نهاية. ومجددًا، لا يمكن تفسير وجود مثل هذا الكون فقط بقولنا إنه كان موجودًا ويواصل الارتداد على الدوام.

هناك اعتراض آخر يتعلق بما يُدعى القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية. في أكثر صور هذا القانون شمولًا يركز على العمليات غير القابلة للانعكاس، أي شيء يمكنه السير في اتجاه ما وليس أي اتجاه آخر. مثال على ذلك انهيار أحد النجوم إلى ثقب أسود؛ إذ يستحيل الحصول على النجم مجددًا. إن أي عملية غير قابلة للانعكاس في الكون وتجري بمعدل محدد (على سبيل المثال، احتراق أحد النجوم أو انهياره) ستصل إلى حالتها النهائية بمعدل محدد. وفي هذه الحالة، إذا كان عمر الكون كبيرًا بشكل لانهائي فينبغي أن يكون في حالته الأخيرة الآن. فمثل الساعة التي تستنفد بطاريتها كان من المفترض بساعة الكون العظيمة أن تكون قد توقفت بالفعل عن التحرك، لكن من الواضح أن هذا لم يحدث بعد (انظر الإطار ٥).[15]

إطار ٥: لماذا لا يمكن أن يكون الكون قد وُجد على هذه الصورة على الدوام؟

بحلول خمسينيات القرن التاسع عشر كان علماء الفيزياء على معرفة بالقانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية، الذي يمنع الحركة السرمدية للآلات، فلا يوجد محرك، على سبيل المثال، يستطيع العمل بشكل لانهائي دون أن يعاد تزويده بالوقود. أما الشمس وغيرها من النجوم فإن القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية يحكم عليها بالفناء الحتمي. إن الشمس، التي تدعم أغلب أشكال الحياة على الأرض، ظلت تسطع بثبات (في الحقيقة تزداد سطوعًا بدرجة طفيفة) لمدة ٤٫٥ مليار عام. اليوم نحن نعرف أن الشمس تستمد طاقتها من التفاعلات النووية التي تحدث في جوفها. لم يعرف أحد هذا في خمسينيات القرن التاسع عشر، لكن كان من البديهي وجود مصدر للطاقة من نوع ما، ولا يوجد أي مصدر للطاقة غير قابل للنفاد. لا تستطيع الشمس مواصلة السطوع للأبد؛ إذ إن مخزون طاقتها سينفد إن عاجلًا أو آجلًا. بعملية حسابية سريعة نكتشف أن الشمس بلغت بالفعل منتصف دورة حياتها. وفي غضون من ٤ إلى ٥ مليارات عام ستقع في مشكلة عظيمة وسينتهي بها الحال وهي تنهار على نفسها إلى ما يسمى بالقزم الأبيض.

والقصة لا تختلف مع النجوم الأخرى؛ إذ إنها ليست خالدة. إن النجوم تولد، ثم تموت. وبما أنه يوجد مخزون محدود من المواد الخام (غاز الهيدروجين بالأساس) في مجرتنا وغيرها من المجرات، فسيأتي الوقت الذي لن تتكون فيه نجوم جديدة، وتنطفئ النجوم الموجودة، لينتهي بها المطاف كثقوب سوداء أو نجوم نيوترونية، أو أقزام سوداء. كان هذا السيناريو العام معروفًا بالفعل في القرن التاسع عشر، وكان يشار إليه بأنه الموت الحراري للكون. لكن في ذلك الوقت لم يبد أن أحدًا فطن إلى النتيجة المنطقية الحتمية: أن الكون لا يمكن أن يكون قد وُجِدَ طوال الوقت على هذه الصورة دون تغيير، على الأقل ليس في

صورته الحالية، وإلا لم يكن إلا مقبرة نجمية لا أكثر. كان على هذا الاستنتاج أن ينتظر القرن العشرين واكتشاف تمدد الكون على يد سليفر وهابل، وهو التطور الذي قاد إلى نظرية الانفجار العظيم المفسرة لنشأة الكون.

مشكلة أخيرة بشأن نظرية الارتداد العظيم هي أنه، في ظل نطاق عريض من الظروف، سيتكون نوع ما من نقاط التفرد (وذلك وفق نظرية النسبية العامة). من الصحيح أن نقطة التفرد لن يمكنها هنا إعاقة الكون بالكامل؛ بمعنى أن بعض المادة المنجذبة قد تخطئها، لكن هذا يعني أننا لا يمكننا تجنب مواجهة قضية أن الزمكان كان له حد في الماضي فقط بأن نجعل الكون يفتقر للتجانس. وإذا كان من الحتمي أن نواجه نقطة التفرد على أية حال فحري بنا أن نجعلها نقطة تفرد شاملة لانفجار عظيم بدلًا من نقطة تفرد مراوغة لارتداد عظيم.

كان الوصف السابق هو الوصف المقبول حين كنت أدرس بالجامعة في الستينيات. قيل وقتها إن الانفجار العظيم كان حدثًا بدون سبب؛ لأن تفرد الزمكان الذي كان يحيط به يشير إلى انهيار كل من الزمكان والنظريات الفيزيائية، وهذا يجعل أي تفكير عن الأسباب والنتائج لا معنى له. بدا أن هذا التفسير يضع نشأة الكون خارج نطاق العلم إلى الأبد. إلا أن علماء الكونيات كانوا في بداية سعيهم وحسب، وعزمت بعض النظريات العلمية على إيجاد تفسير علمي لمولد الكون. وقد تحقق التقدم من ناحية غير متوقعة.

(١٤) إلى أي مدى في الماضي يمكننا دفع نظرياتنا؟

حين نحاول بناء قصة الكون المبكر سيكون علينا أن نطبق أفضل فهمنا للفيزياء على الظروف القاسية التي وُجِدَت بعد الانفجار العظيم على الفور. تقدم فيزياء الجسيمات عالية الطاقة بعض البيانات التجريبية التي يمكنها إرشادنا، لكن ونحن نفكر في لحظات مبكرة أكثر وأكثر سيكون علينا الاعتماد أكثر على نظريات تخمينية؛ فالتضخم، مثلًا، يعتمد على نظريات الفيزياء العظيمة الموحدة للفيزياء الجزيئية، التي لا يوجد عليها تأكيدات تجريبية إلى الآن.

وحتى نظريات الفيزياء الراسخة قد لا تنطبق على طول الطريق وصولًا إلى لحظة الصفر. يستخدم بعض العلماء مصطلح «التعميم» حين يأخذون فكرة أو

نظرية أو قانونًا فيزيائيًا ويطبقونه على نطاق مختلف تمامًا من حيث الحجم أو الطاقة. السؤال هنا هو: إلى أي مدى يمكن تعميم النظريات الفيزيائية مع العودة بالزمن صوب لحظة نشأة الكون قبل أن تصبح الظروف متطرفة للغاية لدرجة تمنع الوثوق بإمكانية تطبيقها كما هي دون تعديل؟ المدهش في العلوم الفيزيائية هو مدى اتساع تطبيق بعض النظريات. على سبيل المثال، تمدنا نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية بتوصيف ممتاز للخصائص الكهرومغناطيسية داخل الذرة، إلا أنها تنطبق أيضًا على المجالات المغناطيسية للمجرات ذات القطر الأكبر حجمًا بـ ١٠^٣٢ مرة. إن هذه النظرية تصف تأثيرات المجالات المغناطيسية الدقيقة الموجودة على الأشعة الكونية في الفضاء بين المجرات إلى جانب سلوك النجوم المنهارة التي يطلق عليها النجوم المغناطيسية، والتي تدعم مجالات مغناطيسية أقوى بـ ١٠^٢٠ مرة.

ما مدى نجاح نظرية النسبية لأينشتاين في هذا الجانب؟ من الصحيح أن نظرية النسبية تُطبَّق في سياقات متعددة، سواء على مستوى النظام الشمسي أو الكون بأكمله، لكن كيف نعرف هل تصلح حين كان الكون منكمشًا في حجم كرة تنس أو ذرة؟ هل من قبيل المبالغة أن نحاول تطبيق النظرية «عينها» على جميع المستويات وصولًا إلى الصفر؟

يتبع الفيزيائيون قاعدة أساسية بشأن عملية تدرج المقاييس؛ فإذا كانت النظرية لا تشتمل على وحدة للطول — شيء يصحح المقياس الذي تجري العمليات الفيزيائية وفقًا له — فما من سبيل لمعرفة متى ستنهار النظرية، هذا إن انهارت من الأساس. لا تحوي نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية وحدة طول أساسية كهذه، حتى عند جمعها مع ميكانيكا الكم. لكن مع الجاذبية يختلف الحال. لا تحوي نظرية النسبية العامة وحدة طول ثابتة، ولهذا يمكن أن تنطبق على أكبر الأحجام الكونية وصولًا إلى أصغر فترات الزمان والمكان دون إشارة إلى أين يمكن أن تفشل، إن فشلت من الأساس. لكن عند الجمع بين الجاذبية وميكانيكا الكم يظهر لنا موقف جديد تمامًا. أوضح ماكس بلانك، مبتدع نظرية الكم عام ١٩٠٠، أن الثابت الأساسي الجديد في الفيزياء — الذي نطلق عليه الآن ثابت بلانك أو h، وهو الرقم الذي يحدد نطاق الظواهر الكمية — يمكن جمعه مع سرعة الضوء c وثابت الجاذبية العام لنيوتن G (انظر الإطار ٦) للخروج بكمية ذات وحدة طول.[16] يعرف هذا باسم طول بلانك، تكريمًا لماكس بلانك، وتبلغ

قيمته حوالي $١٠^{-٣٣}$ سنتيمتر، أو $١٠^{٢٠}$ مرة أصغر من نواة الذرة. إن وجود وحدة الطول الأساسية هذه يعني أنه إذا تعاملنا مع الجاذبية بمفاهيم ميكانيكا الكم فسيحدث شيء مهم حين ينكمش حجم النظام إلى طول بلانك. وتحديدًا، نحن نتوقع أن نظرية النسبية العامة لأينشتاين، التي لا تشير إلى الظواهر الكمية، لا يمكن تعميمها دون تعديل على هذا الموقف، وهو ما يعني إمكانية توقع انحرافات متطرفة عن تنبؤات النسبية العامة على مستوى طول بلانك أو أدنى منه.[17]

إطار ٦: ما هو ثابت الجاذبية العام G؟

كما أوضحت في الفصل الأول فإن نيوتن خمن، محقًا، أن قوة الجذب بين أي جسمين تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بينهما. يوضح الشكل ١-١ رسمًا بيانيًا لقوة الجاذبية مع الابتعاد. لكن ليست هذه القصة بالكامل. لاحظ أنه لم تكن هناك وحدات محددة على الرسم. يخبرنا قانون نيوتن بمقدار تفاوت قوة الجاذبية بما يتناسب مع المسافة (حيث تصير أقوى بأربع مرات مع نصف المسافة وهكذا)، بيد أنه لا يخبرنا نهائيًا عن القيمة «المطلقة» لقوة الجاذبية. استنتج نيوتن، مصيبًا، أن قوة الجذب تعتمد على مقدار المادة التي يحتوي عليها الجسمان، أي كتلتيهما، لكن هذا وحده لم يكن كافيًا؛ فإذا سألنا عن مقدار قوى الجاذبية بين جسمين كتلة الواحد منهما كيلوجرام واحد وتفصلهما مسافة قدرها متر واحد، فلن تستطيع نظرية نيوتن أن تعطينا الإجابة وحدها. السبيل الوحيد لمعرفة الجواب هو قياس هذه القوة لنرى ما حددته الطبيعة. وعند عمل ذلك، وافتراض أن قانون الجاذبية عام (وهو ما فعله نيوتن) عندها يتحدد المقياس وتتحدد هذه القوة المطلقة لكل الكتل والمسافات في كل مكان في أرجاء الكون. (للفضوليين منكم نقول إن الإجابة هي $٦,٦٧٣ \times ١٠^{-١١}$ م^{٣} كجم$^{-١}$ ف$^{-٢}$.) في الحقيقة من العسير قياس قوة الجذب بين الكتل المعروفة، إلا أن هذا ممكن عمله. من الطرق المبكرة لعمل ذلك رؤية القدر الذي سيجذب به جبل ثقلًا متدليًا من وضع عمودي ثم تحديد مقدار القوة، مع المعرفة (التقريبية) لكتلة الجبل. في أيامنا هذه يمكن الحصول على جواب دقيق في المعامل باستخدام كُرَتين من المعدن. إن قوة الجذب بينهما ضئيلة، لكن يمكن قياسها باستخدام المعدات الحساسة. على كلٍّ، الشاهد هنا هو أنه يوجد ثابت متأصل في الطبيعة — ثابت الجاذبية العام لنيوتن الذي يرمز له بالحرف G — والذي تُضرب فيه القيم المتغيرة في القانون ويحدد القيمة الفعلية لقوة الجاذبية. إذا كان ثابت الجاذبية ضعف قيمته فستكون جميع قوى الجذب في الكون ضعف قوتها (في ظل تساوي كافة الظروف الأخرى). دعني أؤكد ثانية على أن ثابت الجاذبية لا يمكن استنتاجه من نظرية نيوتن، بل يقاس بصورة معملية تجريبية. يؤمن أغلب علماء الفيزياء، التالين على نيوتن، بأن ثابت الجاذبية ثابت كوني، وأنه واحد

> في كل مكان، مع أنهم لا يملكون أدنى فكرة عن السبب وراء حمله هذه القيمة تحديدًا. لكل قوى الطبيعة نفس الخاصية؛ فمهما تكن الصورة الرياضية لقوانين القوى فهناك ثوابت كلية غير محددة (عادة تسمى «مؤشرات»؛ لأن قيمها يمكن أن تتفاوت) تضبط القيم المطلقة للقوى ولا بد أن تقاس تجريبيًّا كي تتحدد قيمها.

من الطرق الأخرى التي تهيمن بها التأثيرات الكمية على الجاذبية هي إنشاء وحدة طبيعية للزمن، التي يمكن الحصول عليها بقسمة طول بلانك على سرعة الضوء. يطلق على الناتج زمن بلانك، ويبلغ حوالي ١٠-٤٣ ثانية. بصورة عامة، من المتوقع أن تفشل نظرية أينشتاين في مثل هذا الإطار الزمني الضئيل، وأن تحل محلها نظرية للجاذبية الكمية. وفي سياق نشأة الكون والانفجار العظيم والوجود المحتمل لنقطة تفرد مبدئية، يطلق زمن بلانك جرس إنذار: إذ لا ينبغي علينا الوثوق بالنسبية العامة حين تُطبق في إطار زمن بلانك واحد في نشأة الكون. لن يؤثر هذا على التضخم، على الأقل على النحو الذي وصفته إلى الآن، إذ إنه حدث بعد ذلك (في عمر حوالي ١٠-٣٤، أي مليار زمن بلانك)، بيد أن التأثيرات الكمية للجاذبية من شأنها أن تغير كل ما يتعلق بنقاط التفرد ونشأة الكون. كان هذا الإدراك هو ما قاد إلى إيجاد مجال دراسة جديد: إنه علم الكونيات الكمي.

(١٥) علم الكونيات الكمي

يعد الجمع بين أقصى طرفي النقيض في الفيزياء — علم الكونيات الذي يدرس الكون، وميكانيكا الكم التي تدرس النظم الذرية ودون الذرية — محاولة طموحة وفق أي معيار. إلا أن هذا لم يمنع بعض الفيزيائيين المتميزين من العمل على هذا الموضوع. أول هؤلاء كان جون ويلر في الستينيات، الذي زعم أن عدم اليقين الكمي سيضفي الغموض على نقطة التفرد، مستبدلًا التقوس اللانهائي للزمكان بشيء آخر أكثر اعتدالًا وتعقيدًا. من سبل رؤية ذلك تشبيه نقطة التفرد برأس دبوس حاد بصورة لانهائية. عند تطبيق ميكانيكا الكم على الدبوس الحقيقي سنجد أن موضع رأس الدبوس لن يكون دقيقًا بقدر طفيف، وهو ما يؤدي إلى أن يكون الرأس غير حاد. هل ستتسبب ميكانيكا الكم في جعل نقطة التفرد الزمكاني «غير محددة»؟ حسنًا، الدبوس شيء، ونقطة التفرد الكوني شيء آخر. بداية، عند

التعامل مع الجاذبية الكمية لا بد أن تُطبق ميكانيكا الكم على الزمكان، لا على المادة، الأمر الذي يثير عددًا من المشكلات الفنية والمفاهيمية.

وحتى لو استطعنا التغلب على هذه المشكلات تتبقى لنا مسألة: أي حالة كمية يكون الكون عليها؟ لرؤية المشكلة فكر في نظام بسيط للغاية يحتاج ميكانيكا الكم لتفسيره، ذرة الهيدروجين. تصف ميكانيكا الكم بدقة كيف أن الإلكترون الذي يدور حول البروتون يملك فقط قدرًا يسيرًا من الطاقة المنفصلة الخاصة به وحده. تبدأ مستويات هذه الطاقة مما يطلق عليه «الحالة الأرضية»، وهي أقل حالة طاقة في النظام الكمي، وتستمر في التصاعد وفق «حالات إثارة» أعلى من الطاقة. لذا، لنحدد سلوك أي ذرة هيدروجين، من الضروري أن نحدد بالضبط الحالة التي هي عليها في البداية. على سبيل المثال، إذا كانت الذرة في الحالة الأرضية فسيستقر الإلكترون على هذا الوضع، أما لو كانت في حالة أعلى من حالات الإثارة فسيقفز الإلكترون نحو الحالة الأرضية مطلقًا واحدًا أو أكثر من الفوتونات. إن احتمالات الحالة الكمية لذرة الهيدروجين غير محدودة (فقد يكون الإلكترون، مثلًا، في أي مستوى من مستويات الطاقة المتراكبة، انظر الإطار ٦). وبالمثل، فإن الكون بأكمله قد يكون في أي حالة من الحالات الكمية غير المحدودة، وتتباين النتائج وفق اختلاف الحالات، وهو ما لن يفيدنا كثيرًا. أي حالة كمية إذن يكون فيها الكون؟ في أوائل الثمانينيات اقترح ستيفن هوكينج، من جامعة كامبريدج، بالتعاون مع جيمس هارتل، من جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا، أنه قد توجد حالة كمية خاصة «طبيعية» للكون — أشبه بالحالة الأرضية — وعبرا عنها عن طريق بنية رياضية خاصة.[18]

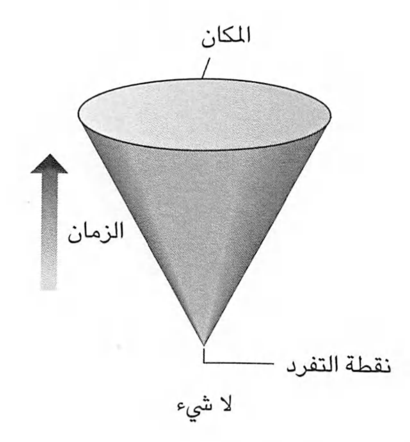
(١٦) كيف يمكن أن ينشأ الكون من لا شيء حرفيًّا؟

رغم أن الفهم الملائم لحالة هارتل-هوكينج يتطلب الإلمام بالرياضيات المتقدمة، فإنه يمكن توصيل الفكرة العامة عن طريق إحدى الصور. من الخصائص الأساسية للحالة المختارة هي الطريقة التي «يشوه» بها عدم اليقين الكمي الزمان والمكان، فبتطبيق عدم اليقين الكمي على جسيم كالإلكترون سنجد أن هذا يعني أن موضعه وحركته يتعذر تحديدهما بدقة (انظر الإطار ٦). وعند تطبيق عدم اليقين الكمي على الزمكان ينبئنا بأن المكان والزمان نفسيهما سيتعذر تحديدهما بدقة؛ أي إن

النقاط المكانية والزمانية ستتشوه. لكن الأدهى من ذلك هو أن ذلك التشوه الكمي سيؤثر على الهوية المستقلة لكل من الزمان والمكان. دعني أوضح لك ما أعنيه بهذا: في الحياة اليومية الزمان زمان والمكان مكان — فلا يوجد خلط بينهما — حتى رغم أن المكان والزمان يعنيان نفس الشيء «تقريبًا»؛ لكونهما الجزأين المكونين للزمكان. لكن في العالم الكمي لن تكون هوية أي منهما مستقلة بهذا الشكل؛ إذ ستتصرف بعض الفترات الزمانية مثل المسافات المكانية، والعكس بالعكس؛ فيصير الزمان أشبه بالمكان والمكان أشبه بالزمان. إن أزمة الهوية الناجمة عن هذا الأمر — التقلبات الكمية للزمان والمكان — طفيفة للغاية، بل في الواقع هي منحصرة فقط في إطار أطوال بلانك وأزمانه. لكن في سياق نشأة الكون سيكون لها أهمية عظيمة.

لفهم كيف تشتمل الحالة الكمية لهارتل-هوكينج على تشوه زماني ومكاني، انظر إلى الشكل ٣-٤. هذا تمثيل تخطيطي مبسط لتمدد الكون يُمثل فيه الزمان عموديًّا والمكان أفقيًّا. تخلصت في الشكل من بُعدين مكانيين، تاركًا بعدًا واحدًا فقط مبينًا على صورة دائرة (أي فضاء مغلق). يمكننا أن نرى على الفور أن الكون يتمدد لأن قطر الدائرة يزداد مع مرور الوقت. وعلى العكس، في الماضي كان ينقص، وصولًا إلى لحظة بداية الزمان، المشار لها بالقيمة ز = صفر، حيث يصل إلى لا شيء، وهذه هي نقطة التفرد الكوني الخاصة بالانفجار العظيم. في هذه الصورة يبدو الزمكان كالمخروط المقلوب، وباستثناء الرأس المستدق الحاد لقاعدته، لا ينبغي وضع أهمية كبيرة على الشكل نفسه. يعمل عدم اليقين الكمي على تغيير بنية المخروط قرب قاعدته، بحيث تبدو الرأس أشبه بالنحو المبين في الشكل ٣-٥. إن النقطة الحادة اللانهائية، التي تمثل نقطة التفرد الزمكاني، تُستبدل بقاعدة كقاعدة الإناء. يبلغ قطر هذه الدائرة حوالي واحد طول بلانك، وهو طول دقيق للغاية بالمعايير البشرية، لكن ليس صفرًا، وهذا أمر شديد الأهمية. وعلى هذا لم تعد هناك نقطة تفرد في هذا الوصف.

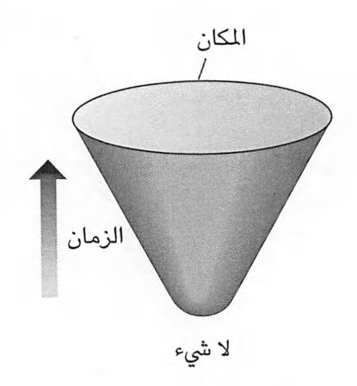
بترجمة هذا إلى لغة الزمكان، مع استخدام تقنيتنا المألوفة لعرض الفيلم الكوني للخلف، نجد أن هذا الشكل يصف كونًا ينكمش بشكل حثيث صوب قطر يبلغ الصفر، وهو القطر المقدر الوصول إليه في وقت محدد متوقع، لكن قبيل وقوع هذا الحدث النهائي مباشرة (حوالي واحد زمن بلانك قبله)، يبدأ الزمن نفسه في التشوه، ويمر بأزمة هوية، ويبدأ في اكتساب سمات أشبه بالمكانية. لا يتحول



شكل ٣-٤: **نقطة التفرد عند مولد الكون.** في نموذج الانفجار العظيم القياسي، والمبني على نظرية النسبية العامة لأينشتاين المصحوبة بافتراض التطابق التام، ينشأ الكون في حالة متفردة ذات كثافة لانهائية وتقوس زمكاني لانهائي، والمبين هنا من خلال رأس المخروط المقلوب. ولتسهيل عملية التخيل أظهرت المكان هنا بشكل أحادي البعد ومغلق على شكل دائرة (تمثل كرة فائقة ثلاثية الأبعاد). المنطقة أسفل المخروط، والمشار إليها بكلمة «لا شيء»، التي تبدو أنها تقع «قبل» الانفجار العظيم، لا توجد كمكان فعلي في هذا النموذج. إن المكان والزمان يبدآن في نقطة التفرد.

الزمان إلى مكان على حين غرة، إذ يحرص نموذج هارتل-هوكينج الرياضي المقترح على هذا، بل يذوي تدريجيًّا بصورة مستمرة. في «قاعدة الإناء» يصير الزمان شبيهًا بالمكان تمامًا. بالنظر للأمر من الخلف للأمام نقول إنه في البداية كانت هناك في الواقع أربعة أبعاد للمكان، تحول أحدها إلى الزمن. لم يكن هذا التحول «مفاجئًا»، كما اقترح أوجستين، مع أنه بالمعايير البشرية قد يبدو سريعًا بما يكفي، حيث استمر فقط مدة زمن بلانك واحد (أو بالأحرى كان سيستغرق هذه الفترة لو كان للزمن وجود). لكن أهم ما في الأمر هو أنه لم يكن لحظيًّا. فبدلًا من المنشأ المتفرد للكون، الحدث الذي وقع دون سبب والذي يضع نشأة الكون خارج إطار العلم، أصبح في هذه النظرية منشأ آخر سلس، يتوافق مع قوانين الفيزياء في كل مكان.[19]

إلى أي مدى يمكننا أن نأخذ توصيف هارتل-هوكينج لنشأة الكون بجدية؟ ليس بجدية كبيرة، في رأيي. إن قيمته تكمن بالأساس في توضيحه لنا كيف يمكن وضع نظرية فيزيائية عن مولد الكون من لا شيء حرفيًّا. وسواء كانت هذه النظرية بصورتها هذه صحيحة أم لا، فإنها تبين لنا كيف يمكننا أن نجتاز



شكل ٣-٥: **المنشأ الكمي للكون.** في هذه الصورة المبسطة للغاية، والمبنية على النموذج الذي اقترحه هارتل وهوكينج، فإن الكون كان له حد في الماضي، لكن لا توجد نقطة منشأ ظهر الزمن فيها «بشكل مفاجئ»، بل يصير الزمن أكثر شبهًا بالمكان بالقرب من البداية، وذلك نتيجة تأثيرات ميكانيكا الكم.

برشاقة ما يبدو كأنه معضلة مستحيلة الحل. قبل إسهام هارتل وهوكينج كان يُفترض إما أن الكون كان موجودًا للأبد بصورة أو بأخرى، أو أنه كانت هناك لحظة محددة من الوقت؛ نقطة معينة «بدأ» فيها الزمن دون سبب. إلا أن كون هارتل-هوكينج تشوبه مشكلة عويصة؛ لأنه يحتوي على خاصيتين متعارضتين بشكل واضح؛ فمن ناحية، هذا الكون محدود بزمن معين في الماضي — أي إن الزمن لا يمتد للوراء إلى الأبد — ومن ناحية أخرى لا توجد لحظة محددة بدقة بدأ فيها الكون أيضًا. إن قاعدة الإناء في الشكل ٣-٥ تمثل بشكل ما الحد الماضي للزمن، بيد أنها ليست اللحظة الأولى له.

دعني أكرر أن اقتراح هارتل-هوكينج «لا يصف» كونًا موجودًا على الدوام؛ فهناك انفجار عظيم، ولم يوجد أي كون قبله، ولو حتى بميكروثانية واحد. إن محاولات تحديد اللحظة الأولى محكوم عليها بالفشل؛ حيث تضيع في عدم اليقين العام لميكانيكا الكم. إن التساؤل عما وُجد قبل الانفجار العظيم — ماذا يقع أسفل الإناء؟ — لا جدوى منه، وعلى حسب تعبير هوكينج هو أشبه بالتساؤل عما يوجد شمال القطب الشمالي. إن الإجابة هي لا شيء، ليس لأن هناك أرضًا غامضة من «اللاشيء» هناك، بل لأن الفترة الزمنية «السابقة على الانفجار العظيم» تشبه المنطقة الواقعة «شمال القطب الشمالي»، أي إنها ببساطة غير موجودة من الأساس.

لكن رغم أن هذا التقدم كان محل ترحاب لأنه أبطل فكرة المنشأ السحري للكون دون الوقوع في مشكلة الكون السرمدي، فإن نظرية هارتل-هوكينج، شأن غيرها من المحاولات العديدة لوصف الكون استنادًا إلى ميكانيكا الكم، تواجه مشكلة أخرى عويصة من حيث المبدأ، وهي: إما أن نشأة الكون حدث طبيعي، أو أنه حدث خارق للطبيعة. (وأعني بخارق للطبيعة أنه لا يمكن تفسيره في نطاق العلم وحده.) لكن كيف لنا أن نبرر الزعم بأنه حدث طبيعي رغم أنه لم يقع سوى مرة واحدة وحسب؟ إن الحدث الطبيعي يقع بالاتفاق مع قوانين الطبيعة في ظل احتمالية أكبر من الصفر. يعني هذا أنه يمكننا القول إنه إذا ظهر الكون للوجود من لا شيء، وفق قوانين الطبيعة، فبالإمكان حدوث ذلك مرة أخرى ... وأخرى. وكما أوضح الفيلسوف الكندي جون ليزلي فإنه سيكون من المستغرب بشدة أن تحمل العمليات الفيزيائية التي أفضت إلى وجود كوننا ملصقًا يقول: «هذه الآلية نجحت في عملها مرة واحدة فقط.»[20] بعبارة أخرى، مهما تكن النظرية الفيزيائية التي يمكن أن يخرج بها الشخص لوصف نشأة الكون، فإن نفس النظرية تصف نشأة «العديد من» الأكوان، في الحقيقة عدد لا محدود من الأكوان. وفي حقيقة الأمر يمكن أن تنشأ مثل هذه النظرية من سيناريو الكون المتضخم.

(١٧) التضخم الأبدي

من نقاط الضعف في نموذج جوث الأولي عن الكون المتضخم الحاجة لافتراض أن مجال التضخم بدأ بالضرورة في حالة استثارة غير مستقرة، وهي الحالة التي ستدفع التمدد الأسي للكون. أشارت الحسابات إلى أنه لو كان الانفجار العظيم الذي سبق التضخم بجزء من الثانية حارًّا بما يكفي فبمقدور مجال التضخم أن يبرد بشكل تلقائي إلى الحالة المطلوبة. إلا أن العديد من المنظرين لم يؤمنوا بهذا أو اعتقدوا أنه أمر ملفق. وجد عالمان روسيان للكونيات — وهما أندريه ليند الموجود الآن في جامعة ستانفورد، وأليكس فيلنكين الموجود الآن في جامعة تافت — وسيلة أفضل لجعل التضخم يبدأ بصورة لا تجعله يحتاج لظروف نشأة خاصة. إن الفكرة الأساسية هي أنه فور أن يبدأ التضخم، سيكون من العسير للغاية إيقاف حدوثه في كل مكان. إن سبب ذلك يرجع إلى نفس فكرة التفاوتات الكمية التي ناقشتها من قبل عند الحديث عن البنية واسعة النطاق للكون. إن

مجال التضخم الواقف وراء تضخم الكون يخضع لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، لذا ستتفاوت قوته عشوائيًا وتلقائيًا من مكان لآخر ومن وقت لآخر. إن هذا المجال، الذي بدأ في حالة استثارة غير مستقرة، يريد في معظمه أن يذوي وينهي عملية التضخم، كان هذا هو اقتراح جوث المبدئي. لكن في النقاط المتفرقة التي يعاني فيها المجال تفاوتات «مقوّية» بمعدل أكبر من معدل تحلله، سيزداد التضخم فعليًا في القوة (حيث ستزيد نسبة التضخم مع قوة مجال التضخم). ومع أن هذه النقاط «المخالفة للتيار العام» موجودة في مواضع متفرقة (أغلب التفاوتات صغيرة للغاية بما لا يجعلها تتغلب على تحلل مجال التضخم)، فإنها تولد مساحة كبيرة من الفضاء. تذكر أن السمة الأساسية للتضخم هي أن الفضاء يتضاعف في الحجم على فترات متلاحقة ثابتة. ومن ناحية الحجم المادي، إذن، تهيمن تلك المناطق المتضخمة على الكون بالكامل. وهكذا، بالنظر إلى الكون من أعلى سنجد أن الكون تكون في أغلبه من فضاء متضخم أوجدته مناطق نادرة ذات تفاوتات «مقوّية»، تتخللها مناطق توقفت عن التضخم وتحولت إلى أكوان متمددة بالطريقة المتعارف عليها (أي التمدد بمعدل متناقص).

ولأن التفاوتات الكمية لا يمكن إيقافها فستظل هناك على الدوام مناطق من الفضاء تستمر في التضخم، وهذه المناطق تمثل الحيز الأكبر من الفضاء. هكذا يستمر هذا النظام في توليد أكوان جيبية بصورة لا نهاية لها. وكل كون جيبي سيرث نفس تجانس المنطقة المتضخمة التي جاء منها، مصحوبًا ببعض التفاوتات الكمية الصغيرة التي ستكون بنيته واسعة النطاق. (التفاوتات داخل الكون الجيبي عادة ما تكون أصغر من التفاوتات الواقعة بين كل كون جيبي وآخر.)[21] يتبقى سؤال واحد دون جواب، وهو: هل النظام المتضخم بحاجة لنقطة بداية؟ كما في نظرية جوث الأصلية، قد يكون المنشأ الأساسي انفجارًا عظيمًا محاطًا بنقطة تفرد. بيد أنه من الممكن أيضًا تصور أنه لا توجد بداية؛ بمعنى أن الفضاء المتضخم الذي يولد الأكوان الجيبية موجود على الدوام.[22] هذا الاقتراح الأخير محل تفصيل من جانب ليند، الذي يشير لهذا النموذج بالتضخم الأبدي الفوضوي، وهو فوضوي بسبب التفاوتات العشوائية، وأبدي لأن التضخم ليس له بداية أو نهاية. وقد كتب: «العملية كلها يمكن اعتبارها تفاعلًا متسلسلًا مطلقًا للخلق والإنتاج الذاتي ليس له نهاية، وقد لا تكون له بداية أيضًا.»[23]

(١٨) الكون المتعدد

تغير نظرية التضخم الأبدي تغيرًا جذريًّا من طبيعة علم الكونيات، فمع أنها تفسر نفس الأشياء التي تفسرها النسخ الأخرى من نظرية التضخم، فإنها تقدم أساسًا مفاهيميًّا مختلفًا تمامًا. إن ما كنا نطلق عليه طوال الوقت مسمى «الكون» لم يصبح، في هذه النظرية، إلا جزءًا متناهي الصغر من «فقاعة» واحدة، أو كونًا جيبيًّا، ضمن عدد لانهائي من الأكوان الأخرى «المتعددة»، التي يحويها جميعًا فضاء متضخم موجود بشكل سرمدي. يشير ليونارد ساسكيند، عالم الفيزياء النظرية بجامعة ستانفورد، إلى فكرة الكون المتعدد على أنها «كون حمام الفقاقيع».[24] وعلى هذا يقدم التضخم الأبدي آلية لا تنضب لتوليد الأكوان، لا يعدو كوننا — فقاعتنا — إلا أحد منتجاتها. إن كل كون جيبي سيولد في دفقة من الحرارة المحررة في تلك الفقاعة حين يتوقف التضخم، وسيمضي ليستمتع بدورة حياة من التطور، وقد ينتهي به الحال في النهاية بالموت، إلا أن نظام إنتاج الفقاعات نفسه أبدي.

أين توجد الأكوان الأخرى؟ الإجابة المختصرة هي «على مبعدة كبيرة عنا». تتنبأ نظرية التضخم بأن حجم الفقاعة التقليدية أكبر بشكل لا يصدق من الكون المرصود. وبوصف «لا يصدق» هذا أعني أكبر حجمًا بصورة مهولة. إن كوننا المرصود يقع على الأرجح في أعماق منطقة يبلغ عرضها $١٠^{١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}$ كيلومترا! قارن هذا بحجم الكون القابل للرصد والبالغ $١٠^{٢٣}$ كيلومتر وحسب.[25] وحتى لو استطعنا بصورة سحرية الوصول لحافة فقاعتنا فلن نتمكن من رؤية الكون المجاور لنا. بدلًا من ذلك سنجد منطقة من الفضاء الخاوي المستمر في التضخم، الذي يتضاعف حجمه كل $١٠^{-٢٤}$ ثانية أو أسرع. لذا، رغم أن الأكوان الجيبية لا تزال تتمدد، فإنها لن تتداخل لأن التضخم الموجود في الفجوات بينها يبعدها بعضها عن بعض بسرعة أكبر بكثير من سرعة نمو حدودها. وعلى هذا يصير من المستحيل فعليًّا، حتى للضوء، أن يعبر الهوة الواسعة الموجودة بينها.

يمثل التضخم الأبدي نقلة هائلة، ليس فقط في علم الكونيات ذاته، بل في الأساس الفلسفي الذي يقوم عليه أيضًا، فعلى حين غرة صار الكون أكبر حجمًا بصورة مهولة. منذ خمسمائة عام لا أكثر تصور الناس أن الكون، المتمركز حول كوكب الأرض، يبلغ عرضه بضعة آلاف من الكيلومترات. ثم كشف مولد علم الفلك

عن أن النجوم تقع على بعد الكثير من السنوات الضوئية عن الأرض، وفي القرن العشرين صار من الجلي أن مجرات أخرى موجودة على بعد مليارات السنوات الضوئية من الأرض. والآن يأخذنا هذا التوسع المهول في الحجم في قفزة هائلة أخرى.

شأن العديد من القفزات العلمية فإن مفهوم الكون المتعدد ليس بالفكرة الجديدة، ففي القرن السابع عشر اقترح عالم الفيزياء والرياضي والفيلسوف متعدد المعارف جوتفريد لايبنيز أن عالمنا ليس إلا عضوًا واحدًا (الأفضل في الواقع) في مجموعة من العوالم، التي لم يقصد بها فقط مجموعات من الكواكب، بل من الأكوان، لكل واحد منها زمانه ومكانه الخاص وسماته ونظم مادته الفريدة. وفي القرن الثامن عشر تدبر الفيلسوف ديفيد هيوم فكرة أن كوننا قد يكون نتاجًا لعملية طويلة من المحاولة والخطأ:

> إذا عاينا سفينة، أية فكرة رائعة سنحصل عليها بشأن مدى عبقرية النجار، الذي ابتكر مثل هذه الآلة المعقدة المفيدة الجميلة؟ لكن كم سنندهش حين نجد أنه ليس إلا حرفيًّا عاديًّا حاكى غيره ونسخ فنًّا تحسن تدريجيًّا على مدار سلسلة من العصور، بعد كثير من المحاولات والأخطاء والتصحيحات والمداولات والخلافات. قد تكون هناك عوالم عديدة غير متقنة وُجِدَت على مر الزمن، قبل أن يصيب عالمنا النجاح، عوالم بُذل فيها الكثير من الجهد، لكن تحقق فيها تحسن مستمر على مدار عصور لانهائية.[26]

إن الزيادة الكبيرة في الأبعاد الكونية الممثلة من خلال مفهوم الكون المتعدد ليست سوى جانب واحد من جوانب تغير الفكر الفلسفي، فمنذ كوبرنيكوس افترض العلماء أنه لا يوجد شيء خاص أو مميز بشأن موقعنا في الكون. وكما ناقشت في الفصل الثاني، عادة ما يشار لهذا بمبدأ عدم التميز، الذي يعني أن الأرض ليست إلا كوكبًا تقليديًّا يدور حول نجم تقليدي في مجرة تقليدية. وبتطبيقه على توزيع المادة في الكون يطلق على افتراض عدم التميز اسم المبدأ الكوني، الذي يعني أنه في غياب أي دليل على العكس، فإنه ينبغي علينا افتراض أن الكون متطابق (على النطاق الواسع) في كل مكان. تُدَعِّم المبدأ الكوني حقيقة تطابق الكون على مدى ما تستطيع معداتنا قياسه. إلا أن التضخم الأبدي يعارض معارضة صريحة مبدأ عدم التميز، وذلك من خلال تصوير كوننا على أنه جزء من

فقاعة محاطة بشيء مختلف تمامًا (منطقة متضخمة). صحيح أنه قد يوجد عدد لا حصر له من الأكوان الجيبية الأخرى، إلا أن كوننا لن يكون في هذه الحالة كونًا آخر تقليديًّا فقط، فهو أبعد ما يكون عن ذلك. وكما سنرى في الفصول التالية فهناك أسباب كثيرة تدعونا لافتراض أن كوننا مميز للغاية في واقع الأمر.

النقاط الأساسية

- بدأ الكون كما نعرفه منذ ١٣,٧ مليار عام بانفجار عظيم. لا يزال الكون يتمدد إلى اليوم، مع أن هذا يتم بمعدل متناقص، ولا يزال يغمره إشعاع حراري يعرف بإشعاع الخلفية الميكروني الكوني، الذي يمثل الوهج المتبقي عن الانفجار العظيم. يقدم إشعاع الخلفية صورة عما كان الكون عليه بعد مرور ٣٨٠ ألف عام على الانفجار العظيم.
- على نطاق واسع للغاية يتسم الكون بالتطابق، لكن على مستوى مجموعات المجرات وما دون ذلك نجد أن المادة المرئية تتجمع بعضها مع بعض. تنعكس هذه التركيبة في إشعاع الخلفية الكوني، الذي يتسم بالتجانس إجمالًا لكن مع وجود «تفاوتات» يمكن قياسها.
- يمكن تفسير البنية الأساسية للكون من خلال ما يسمى بنظرية التضخم، التي تقول إن الكون قفز، بعد مرور جزء من الثانية على وجوده، في الحجم بمعدل مهول سببته دفعة قوية من الجاذبية المضادة.
- حين توقف التضخم كان الفضاء خاويًا بالأساس. تحولت طاقة التمدد إلى حرارة، تسببت في تكون المادة.
- حددت التفاوتات الكمية التي وقعت أثناء التضخم البنية واسعة النطاق للكون.
- ربما كان الانفجار العظيم هو المنشئ المطلق للكون، وربما لم يكن كذلك. إذا كان كذلك فهذا يعني أن الزمان والمكان لم يوجدا قبل الانفجار العظيم. حاول علماء الكونيات أن يفسروا بطريقة علمية نشأة الكون من العدم (لا زمان، لا مكان، لا مادة) بالاستعانة بميكانيكا الكم. نتج عن ذلك مجال يسمى بعلم الكونيات الكمي، وهو مجال مثير، لكن ليس دقيقًا.

- إذا لم يكن الانفجار العظيم هو المنشئ المطلق للكون، يثار التساؤل عما كان موجودًا قبله. وفق النظرية الرائجة حاليًّا المسماة بنظرية التضخم الأبدي، فليس كوننا إلا «فقاعة» من الفضاء المتمدد ضمن كثير من الفقاعات، وهناك انفجارات عظيمة تحدث عبر الزمن في «البنية الفائقة» الأوسع. من منظور أشمل سنرى أن أغلب الفضاء يتضخم بمعدل مهول، وأن «الفقاعات»، أو الأكوان الجيبية، تظهر ظهورًا تلقائيًّا من هذا التضخم نتيجة للعمليات الكمية.
- التضخم الأبدي هو إحدى الآليات التي تولد وفرة، أو تجميعة، من الأكوان، المعروفة باسم الكون المتعدد. يمكن لكل كون منفرد أن يختلف بشدة عن غيره من الأكوان، وعدد ضئيل للغاية من هذه الأكوان قد يصلح للحياة.

الفصل الرابع

مِمَّ يتألف الكون؟ وكيف تترابط أجزاؤه؟

(١) أول نظرية (جديرة بالثقة) لكل شيء

تخيل لو أتيحت لك فرصة تعديل الكون بالشكل الذي يحلو لك، لكن مع الحفاظ على خاصية ملاءمة الكون للحياة. إن الكون على شكله الحالي جيد بما يكفي، لكن ما هو مقدار التغييرات الممكن عملها دون إفساده؟ يمكنك التخلص من بعض المجرات أو بعض الثقوب السوداء العملاقة، أيضًا من الممكن الاستغناء عن بعض النجوم الصغيرة والكواكب الضخمة. لكن على المستوى الذري لن تستطيع إلا التخلص من قلة من العناصر؛ إذ إن أغلبها له دور يلعبه في قصة الحياة.[1] أما على المستوى الأصغر فيفضل أن تترك الأمور دون المساس بها. إن التخلص من الإلكترونات مثلًا سيكون أمرًا كارثيًّا؛ إذ سيستحيل وقتها إجراء التفاعلات الكيميائية. أيضًا سينجم عن التخلص من النيوترونات إفساد كل العناصر الكيميائية خلا الهيدروجين. إن مخزون الجسيمات الأساسية ليس بالمكان الذي يفضل العبث به، بل إن حتى تعديل خصائص هذه الجسيمات سيكون أمرًا خطيرًا.

في ظل ضرورة الحفاظ على الأمور على حالها، يتداعى للعقل السؤال عن سبب تألف الكون من العناصر التي يتألف منها. لماذا توجد الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات وغيرها من المكونات الذرية؟ لماذا تتمتع هذه الجسيمات بالخصائص التي تملكها؟ لِمَ تمتلك جميع الجسيمات كتلًا وشحنات كهربية محددة، وليس غيرها؟ منذ خمسين عامًا لم يهتم أحد بالتفكير في مثل هذه الأسئلة، لكن اليوم يوجد إحساس عام بين علماء الفيزياء بأنه من المفترض بنا أن نكون قادرين على الإجابة عليها؛ بمعنى أن جميع الجسيمات الأساسية وخصائصها ليست اعتباطية،

بل من المفترض أن تكون قابلة للتفسير في ضوء نظرية أعمق؛ نظرية توحد جميع مكونات المادة على اختلافها. أحيانًا ما تُسمى المحاولات الهادفة لذلك، بقدر من المبالغة، بنظريات كل شيء.

في القرن الخامس قبل الميلاد قدم الفيلسوفان الإغريقيان ليوسيبوس وديموقريطس تفسيرًا كاملًا للعالم المادي. عاش هذان الفيلسوفان القديمان في زمن يسبق وجود أي شيء يشبه العلم ولو من بعيد، إلا أنهما كانا يتمتعان بقوة الملاحظة ومهارة التفكير المنطقي. كما هو الحال معنا، تفكر هذان الفيلسوفان في أسئلة كبيرة تتعلق بالكيفية التي يُبنى بها الكون، ومن أين أتى، ومِمَّ يتألف. وصل هذان الفيلسوفان إلى مراتب عالية في التفكير المنطقي والرياضي والغيبي وآمنا بأن الكون يمكن فهمه عن طريق التطبيق الحريص المنهجي للنقاش المنطقي.

كانت المشكلة المزعجة التي استدعت تفكيرًا عميقًا من فلاسفة الإغريق تتمثل في طبيعة التغيير. كيف تستطيع جوزة البلوط التحول إلى شجرة؟ كيف يتحول الماء إلى بخار؟ وبصفة عامة، كيف يمكن لشيء أن يصير شيئًا آخر؟ تكمن الصعوبة، كما رآها الإغريق، في أن الأجسام المادية لها هويات (وبهذه الكيفية نستطيع تسميتها). لذا، إذا كان شيء ما هو (أ)، فكيف يتحول إلى (ب) دون أن يكون (ب) من الأساس؟ كيف يمكن أن يتحول الشيء إلى ما ليس عليه؟ خلص بعض الفلاسفة من هذه المعضلة المحيرة إلى أن التغيير ليس إلا وهمًا، وذهب آخرون إلى العكس تمامًا زاعمين أن لا شيء له هوية ثابتة، وأن كل شيء في حالة من التقلب المستمر.

وجد ليوسيبوس وديموقريطس طريقًا بارعًا للخروج من هذا المستنقع الفلسفي، بأن افترضا أن الكون يتألف من لا شيء سوى جسيمات ضئيلة غير قابلة للتقسيم تتحرك في فراغ. الجسيمات نفسها لا تتغير؛ إذ إنها كيانات بدائية غير قابلة للتحلل تحتفظ بهوية ثابتة على الدوام. نفس الشيء ينطبق على الفراغ؛ إذ إنه غير قابل للتغيير. إلا أن «حركة» هذه الجسيمات داخل الفراغ هي التي تسبب تغير مظهرها. وفق هذا النظام تتكون المادة على اختلافها من ترتيبات متباينة من الجسيمات، وما عملية التغيير إلا عملية إعادة ترتيب للجسيمات. أطلق الفلاسفة على هذه الجسيمات اسم الذرات، أو atomos (وهي الكلمة المؤلفة من مقطعين هما a بمعنى «لا» وtomos بمعنى «مُنجزئ»)، ومن هذه الكلمة جاءت الكلمة الإنجليزية للذرة atom.

هدفت النظرية الذرية للمادة إلى إعطاء تفسير كامل موحد للعالم المادي. كانت طبيعة الذرات غير القابلة للتقسيم جانبًا حيويًّا في هذه النظرية؛ إذ إنها اعتمدت على أن للذرات هوية ثابتة. وإذا كان بالإمكان تقسيم الذرات فهذا يعني أن بمقدورها أن تتغير، وهو ما سيعود بالفلاسفة لنقطة البداية؛ حيث يكون عليهم محاولة تفسير كيفية تحول الشيء إلى آخر. كانت فكرة أنصار النظرية الذرية تقضي بأن الذرات تأتي في أشكال وأحجام متنوعة، لكنها في حدود بعينها كانت متطابقة. وبهذا يمكن أن تكتمل النظرية فقط بجرد جميع أنواع الذرات المختلفة، وتحديد أشكالها وأحجامها، ثم تحديد كيفية التصاقها معًا. عندئذٍ، نظريًّا، يمكن تفسير كل شيء، وكل عملية فيزيائية في العالم، في ضوء مكوناتها الذرية.

(٢) الذرات اليوم

على مر القرون حظيت النظرية الذرية بقبول متفاوت، كانت ميزتها الأساسية هي بساطتها المتناهية وقوتها التفسيرية الكاسحة، لكن كانت نقطة ضعفها الرئيسية هي أن وجود الذرات يجب أن يُقبل استنادًا على الإيمان وحده؛ فنظرًا لافتراض أنها صغيرة للغاية لدرجة لا يمكن معها رؤيتها، لم تكن هناك إمكانية لملاحظتها بصورة مباشرة. واستمر الحال كذلك حتى العصر الحديث. في الحقيقة ظل أبرز العلماء والفلاسفة يتناقشون في صحة النظرية الذرية حتى العقود الأولى من القرن العشرين.

لكن اليوم لم يعد هناك شك في وجود الذرات. وبإمكانك حتى أن ترى صورًا لها في الكتب والمراجع. ومن جوانب عديدة تشبه الذرات التي نعرفها اليوم الجسيمات التي كان ليوسيبوس وديموقريطس يتحدثان عنها؛ إذ إنها تأتي في صور متنوعة (المائة أو نحو ذلك) بيد أنها متطابقة أيضًا (بشكل أو بآخر). إن لها أشكالًا وأحجامًا متباينة، لكنها جميعًا كروية الشكل إجمالًا. قد ترتبط الذرات بعضها ببعض لتكون جزيئات أو بلورات، ومن الممكن إرجاع التغيرات التي تحدث في التفاعلات الكيميائية مثلًا إلى التغير في كيفية ترتيب الذرات. إلا أن ذرات اليوم تختلف عما كان يظنه الإغريق من ناحية البنية الداخلية. افترض الفلاسفة أن الذرات غير قابلة للتقسيم، لكننا نعرف اليوم أنها بنى مركبة ذات أجزاء داخلية متحركة. وبعض العمليات الفيزيائية، مثل التحول البطيء لتركيبة

الشمس من الهيدروجين إلى الهليوم، تقع نتيجة إعادة ترتيب الأجزاء الداخلية للذرات، وليس تغير الذرات نفسها بالكامل. تسبب هذا الإدراك في صرف النظر عن النظرية الذرية بوصفها النظرية الكاملة للطبيعة، رغم إثبات وجود الذرات بما لا يدع مجالًا للشك.

لوهلة، كان هناك بعض الأمل في إنقاذ فكرة ليوسيبوس وديموقريطس الخاصة بالوحدات البنائية الأساسية للمادة بالاعتماد على مكونات الذرة، لا على الذرة نفسها. في البداية لم يبد الأمر صعبًا؛ فالذرة تحتوي على نواة مدمجة، مكونة من مجموعة من البروتونات والنيوترونات، تمثل القدر الأعظم من كتلة الذرة. هذه النواة محاطة بمجموعة من الإلكترونات الأخف كتلة. تحتفظ الذرة ببنيتها عن طريق القوى الكهربية؛ إذ إن البروتونات ذات شحنة كهربية موجبة والإلكترونات ذات شحنة كهربية سالبة، وهو ما يخلق قوى تجاذب تربط الإلكترونات بالنواة. هل يمكن إذن اعتبار هذه الجسيمات دون الذرية — الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات — هي المكونات غير القابلة للتقسيم التي تتألف منها المادة على اختلافها؟

(٣) حشد من الجسيمات دون الذرية

لسوء الحظ، سرعان ما تبدد هذا الأمل؛ إذ إنه بحلول نهايات ثلاثينيات القرن العشرين اكتُشف العديد من الجسيمات الأخرى، التي لا يقتصر وجودها على الذرات. هناك جسيم مطابق في كل جوانبه للإلكترون، فيما عدا أنه يحمل شحنة موجبة مقابل الشحنة السالبة للإلكترون. أُطلق على هذا الجسيم البوزيترون.[2] أيضًا يوجد جسيم آخر يشبه الإلكترون إلى حدٍّ بعيد، بيد أنه أثقل منه ٢٠٧ مرات، أطلق علماء الفيزياء عليه اسم الميوون. علاوة على ذلك، قد يكون الميوون ذا شحنة موجبة أو سالبة، بحيث يمثل انعكاسًا للإلكترون أو البوزيترون. هناك أيضًا جسيم شبحي يعرف باسم النيوترينو، وهو لا يحمل أي شحنة كهربية لكن له قدرة اختراق استثنائية، وهو يسافر بسرعة تقترب بشدة من سرعة الضوء. وهو يفصح عن وجوده بالأساس بفقد الطاقة الذي يحدث أثناء تحلل المواد المشعة. لم يتم التأكد من وجود النيوترينو إلا في أواخر الخمسينيات. وبحلول ذلك الوقت كان الموقف قد صار أكثر تعقيدًا بسبب جميع أنواع الجسيمات دون الذرية الأخرى

التي اكتُشفت، والكثير منها يوجد في الأشعة الكونية (جسيمات سريعة تضرب الأرض من الفضاء، إن كلمة «أشعة» تستخدم هنا في غير محلها الصحيح، بيد أنها لا تزال مستخدمة). على سبيل المثال هناك البيون، الذي قد يحمل هو الآخر شحنة كهربية موجبة أو سالبة، وهو أثقل من الإلكترون بـ ٢٧٣ مرة، إلى جانب نوع آخر من البيونات، هذه المرة ذو شحنة كهربية محايدة، أخف بقليل. وهناك عائلة بأكملها من الجسيمات الأثقل من البروتونات والنيوترونات.

لم تتسم هذه الجسيمات بهذا القدر من المراوغة؟ يعد البوزيترون مثالًا جيدًا على هذا الأمر، فبوصفه صورة معكوسة من الإلكترون، من شأنه أن يختفي إذا قابل إلكترونًا؛ إذ يُفني الإلكترون والبوزيترون أحدهما الآخر ويتلاشيان، مطلقين كتلتهما/طاقتهما على صورة فوتونات لأشعة جاما. بشكل معزول يكون البوزيترون مستقرًّا بدرجة كبيرة، إلا أن الأرض مكونة من ذرات مليئة بالإلكترونات، ولهذا لا تبقى البوزيترونات الواردة من خارج الأرض لفترة طويلة. ظلت الميوونات غير مكتشفة لسبب آخر، وهو أن أغلبها يَفْنَى بعد أجزاء قليلة من الألف من الثانية، بحيث يتحول كل ميوون سالب الشحنة إلى إلكترون، فيما يتحول كل ميوون موجب الشحنة إلى بوزيترون،[3] وبهذا لا تبقى لفترة تكفي لترك أثر ملحوظ في العالم العادي. لم يتم الكشف عن النيوترينو قبل ذلك لأنه لا يتفاعل مع المادة إلا تفاعلًا ضعيفًا للغاية، ونادرًا ما يترك أثرًا يدل على وجوده. على سبيل المثال، تعد الشمس مصدرًا غنيًّا بهذا النوع من الجسيمات، بيد أن أغلبها يمر مباشرة من المادة العادية. وكل ثانية يخترق جسدك مليارات من النيوترينوات دون أي أثر. وفي الواقع أغلب النيوترينوات الشمسية التي تصلنا تمر من كوكب الأرض بأكمله إلى الجانب الآخر من الفضاء دون أن تترك إلا أثرًا يسيرًا. هذه الجسيمات العجيبة المراوغة ليست نادرة الوجود بأي حال، بل هي في حقيقة الأمر أكثر الجسيمات عددًا في الكون بأسره؛ إذ تفوق الإلكترونات والبروتونات بنسبة المليار إلى واحد. لكنها غير ملحوظة حتى إنها لم تُكتشف دون معدات خاصة.

بنهاية الستينيات كان عدد الجسيمات دون الذرية المعروفة كبيرًا حتى إن علماء الفيزياء نفد مخزونهم من المسميات وبدءوا في تعريفها بالأحرف والأرقام. بدأ العالم دون الذري يشبه معرضًا للوحوش الغريبة البديعة التي لا يُعرف لوجودها سبب محدد. يتحلل أغلب هذه الجسيمات في جزء يسير من الثانية، لذا من المحال أن تكون هذه الجسيمات هي الوحدات البنائية للمادة بشكلها

المعروف.[4] ومع ذلك لا شك في أنها شكل من أشكال المادة، وقد صار علماء الفيزياء متلهفين لإضفاء نوع من النظام على هذه القائمة المتنامية من الكيانات.

(٤) ظهور بعض الأنماط

رغم العدد والتنوع المحير للجسيمات دون الذرية فقد بدأت بعض الأنماط في الظهور. على سبيل المثال، لجميع الجسيمات نفس الشحنة الكهربية (إما موجبة أو سالبة) أو تكون معدومة الشحنة؛ إذ إن النيوترون والنيوترينو ذوا شحنة متعادلة. كل فصيلة من الجسيمات لها جسيمات مضادة مرتبطة بها لها نفس الكتلة لكن جميع الخصائص الأخرى، كالشحنة الكهربية، تكون معكوسة. كان البوزيترون أول جسيم يُكتشف، ومع أنه مضاد للإلكترون فإنه لا يزال يحتفظ باسم البوزيترون لأسباب تاريخية. بعد ذلك ظهر مضاد النيوترينو ومضاد البروتون ومضاد النيوترون وهكذا دواليك. يوجد تناظر عميق هنا؛ تناظر بين المادة والمادة المضادة. من الخصائص التناظرية الأخرى للجسيمات دون الذرية خاصية اللف المغزلي، فالإلكترون، مثلًا، يدور حول محوره كالكوكب الصغير، لكن دومًا بنفس معدل الدوران. لأسباب تاريخية أعطي ذلك المعدل الوحدة ١/٢. للبروتونات والنيوترونات والميوونات والنيوترينوات لف مغزلي قدره ١/٢ هي الأخرى. الجسيمات الأخرى المعروفة لها لف مغزلي قدره ١ أو ٣/٢ أو ٢. عادة ما تكون قيمة اللف المغزلي من مضاعفات الرقم ١/٢، وهكذا تتجلى أمامنا قاعدة أخرى. هناك قاعدة أخرى مهمة تقضي بأن جميع جسيمات المادة تنتمي إلى فئة واحدة من فئتين لا أكثر: الجسيمات النووية ومنتجات تفاعلاتها (كالبروتونات والنيوترونات والبيونات)، التي تميل لأن تكون أكبر حجمًا وتُعرف إجمالًا باسم الهدرونات، وبقية الجسيمات (الإلكترونات والنيوترينوات والميوونات ...)، والتي تكون أخف وزنًا ويطلق عليها اللبتونات. الكلمتان مشتقتان من الكلمتين اللاتينيتين لكل من «ثقيل» و«خفيف» على الترتيب.

مع أن بعض الجسيمات الجديدة عُثر عليها في الأشعة الكونية، فإنها سرعان ما باتت تُولَّد في المعامل، باستخدام المعجلات الجزيئية التي تضرب البروتونات أو الإلكترونات عالية الطاقة بأهداف ثابتة أو بمضاداتها الآتية من الجانب الآخر. عادة ما تكون المعجلات على شكل أنابيب مفرغة حلقية الشكل، مثل ذلك الموجود

في بروكهافن الذي تحدثت عنه في الفصل السابق (رغم أن المعجل الشهير الموجود في جامعة ستانفورد بكاليفورنيا مستقيم الشكل). أكبر معجل موجود اليوم يقع في معمل كيرن بالقرب من جنيف ويصل محيطه إلى ٢٧ كيلومترًا. كان مصممًا في الأصل لتعجيل دوران الإلكترونات والبوزيترونات في حزم متضادة الاتجاه بسرعة تصل إلى ٩٩,٩٩٩ بالمائة من سرعة الضوء ثم توجيهها نحو الاصطدام المباشر. ويجري إعادة تصميمه الآن كي يُستخدم مع البروتونات ومضادات البروتونات ومُنح اسمًا جديدًا هو «مصادم الهدرونات الكبير» Large Hadron Collider (LHC). وحين يبدأ العمل في ٢٠٠٧، سيخلق تصادمات في طاقات تعادل حالة الكون بعد مرور واحد على مائة تريليون من الثانية بعد الانفجار العظيم، حين كانت درجة الحرارة تقارب مليار المليار درجة. ليس غرض التصادمات عالية الطاقة هذه دراسة علم الكونيات في الأساس، وإنما الكشف عن البنية الأعمق للمادة. هذا الأسلوب يعود إلى عام ١٩٣٢، حين استخدم جون كوكروفت وإرنست والتون لأول مرة جهازًا كهربيًّا عالي الجهد في جامعة كامبريدج لشطر نواة الذرة.

(٥) الكواركات هي وحدات المادة البنائية

تتكون القائمة متزايدة الطول من الجسيمات المكتشفة حديثًا في الأساس من الهدرونات (الجسيمات الثقيلة نووية النوع). بدأ علماء الفيزياء في التفكير بأنه من الممكن ألا تكون هذه الجسيمات هي الجسيمات الجوهرية، وأنها قد تتكون من جسيمات أصغر حجمًا. اقترح موراي جيلمان وجورج سويج أن البروتونات والنيوترونات يتكون الواحد منها من ثلاثة جسيمات أصغر حجمًا، أطلق عليها جيلمان اسم الكواركات Quarks، على اسم مصطلح ورد في رواية لجيمس جويس. كي تتفق الكواركات مع النظام القائم، لا بد أن تكون شحناتها الكهربية بمقدار ١/٣ و٢/٣ من الوحدة الأساسية. مُنح هذان النوعان من الكواركات، أو «النكهات» كما يشير إليها الفيزيائيون، أسماء اعتباطية هي الكوارك العلوي (ذو الشحنة البالغة ٢/٣) والسفلي (ذو الشحنة البالغة ١/٣). يجتمع اثنان من الكواركات العليا مع واحد من الكواركات السفلى كي يُكَوِّنوا بروتونًا، وحين يجتمع اثنان من الكواركات السفلى مع واحد من الكواركات العليا يتكون النيوترون. بالطبع توجد مضادات لكل نكهة من نكهات الكواركات، وهذه يمكن أن تتحد بالكواركات

في أزواج غير مستقرة: فالبيون، على سبيل المثال، هو كوارك علوي ملتصق بمضاد كوارك سفلي (أو العكس بالعكس، اعتمادًا على ما إذا كان البيون موجبًا أم سالب الشحنة). باختصار، هناك حاليًّا ثلاثة مستويات من التركيب الذري: فالذرات مؤلفة من أنوية وإلكترونات، والأنوية مكونة من بروتونات ونيوترونات، والبروتونات والنيوترونات مكونة من كواركات. أما اللبتونات (الإلكترونات والنيوترينوات، ...) فهي خارج هذا التقسيم؛ إذ إنها تعامل معاملة البنى الأساسية شأن الكواركات.[5]

نظمت فكرة الكواركات الأمور تنظيمًا كبيرًا، فهذا النظام يعني ضمنًا أن المادة عمومًا مكونة من أربعة كيانات أساسية: الكواركات العليا والسفلى، والإلكترونات، والنيوترينوات. (قد يعتقد القارئ أنه من الغريب إدراج النيوترينوات كمكون طبيعي مع أنه من غير المألوف رؤيتها في الحياة العادية، لكن هذا يرجع فقط إلى أننا لا نستشعرها بشكل مباشر، لكن كما أوضحت فهي أكثر وجودًا من جميع الجسيمات الأخرى مجتمعة، وأعتقد أن هذا يكفيها كي تكون من المكونات الأساسية للمادة.) تلك المكونات الأربعة تنقسم في حقيقتها إلى زوجين؛ لأن خصائص الكوارك تختلف اختلافًا كليًّا عن خصائص الإلكترون والنيوترينو.

من الظاهر كان الكون سيسير كما يسير الآن لو تألف فقط من هذه المكونات الأربعة. لكن لسببٍ ما لم تعمد الطبيعة لمضاعفة العدد السابق مرتين، بل ثلاث مرات. الأمر يبدو كما لو أنه في لحظات نشأة الكون الأولى قسمت الجسيمات المكونة للمادة إلى ثلاث عائلات بدلًا من عائلة واحدة. وعلى هذا تكونت العائلة الثانية من نكهتين من الكواركات — يطلق عليهما الكواركات «الغريبة» و«الساحرة» — واثنان إضافيان من اللبتونات، الميوون ونوع آخر من النيوترينو. هذه الجسيمات أثقل من تلك الموجودة في العائلة الأولى،[6] وهي غير مستقرة وتتحلل إلى جسيمات تنتمي إلى العائلة الأولى.[7] وفي النهاية، هناك العائلة الثالثة؛ الكواركات «القميّة» و«القاعية»، وهي جسيمات ثقيلة جدًّا أشبه بالإلكترونات تعرف باسم «تاو»، إضافة إلى نكهة أخرى للنيوترينو. وهذه الجسيمات غير مستقرة هي الأخرى. للتفريق بين النكهات الثلاث للنيوترينو، تسمى وفق اللبتونات التي تتزاوج معها: نيوترينو إلكتروني، ونيوترينو ميووني، ونيوترينو تاووني. يلخص الجدول رقم ٤-١ هذا النظام، وهذا على حد علمنا إلى الآن. هذه العائلات الثلاث رباعية الأفراد تؤدي المطلوب. يمكن مزاوجة الكواركات بين العائلات الثلاث، وهو ما يعطينا إمكانية عدد وافر من التجميعات المحتملة ويفسر كل واحد من الهدرونات قصيرة العمر. ومع أن هذه

جدول ٤-١: **الجسيمات**: الجسيمات الاثنا عشر التي تتألف منها كل أنواع المادة المعروفة. جميعها لها لف مغزلي قدره ١/٢. وكل منها له جسيم مضاد مقابل. لا توجد الكواركات بصورة منعزلة بل إما في تجميعات من ثلاثة كواركات أو في أزواج غير مستقرة من الكوارك والكوارك المضاد. الشحنة الكهربية مذكورة في وحدات شحنة البروتون. جسيمات العائلة الثانية والثالثة تتحلل إلى جسيمات العائلة الأولى.

		الشحنة الكهربية			الشحنة الكهربية
اللبتونات					
تاو	●	-١	نيوترينو تاووني	●	صفر
ميون	●	-١	نيوترينو ميووني	●	صفر
إلكترون	●	-١	نيوترينو إلكتروني	●	صفر
الكواركات					
قاعية	●	-١/٣	قمّية	●	+٢/٣
غريبة	●	-١/٣	ساحرة	●	+٢/٣
سفلى	●	-١/٣	عليا	●	+٢/٣

القائمة من الجسيمات قد تبدو مملة وعسيرة على التذكر، فإنها تحوي تجانسًا ونظامًا داخليًّا مرضيًا. وعلى أي حال، هذه هي الصورة التي تعمل بها الطبيعة، لذا علينا القَبول بها. لا شك كان هذا سيرضي ليوسيبوس وديموقريطس.

سيكون من الخطأ أن أعطيك الانطباع بأن فيزياء الجسيمات ليست إلا تدريبًا على إعطاء المسميات، بحيث تقتصر وحسب على تصنيف الجسيمات دون الذرية إلى فصائل مختلفة. إن العلاقات العائلية التي تربط هذه الجسيمات عن طريق التجميعات المتباينة للكواركات ومضادات الكواركات يمكن التعبير عنها جميعًا بلغة الرياضيات (باستخدام ما يُعرف بنظرية المجموعات). تمكن التناظرات الخفية الإضافية الكامنة خلف هذه التجميعات من كتابة معادلات تربط بين خصائص الجسيمات المتباينة، على نحو يشبه الكيفية التي تربط بها التناظرات في الهندسة العادية بين أضلاع المربع أو رءوس المثلث متساوي الأضلاع. لكن في الفيزياء العملية لا تكون هذه التناظرت هندسية، بل ذات طبيعة مجردة أكثر. ومع هذا فإن وجودها يثبت لنا أن عالم الذرة المصغر ليس كومة من الأشياء العشوائية

فقط، بل هو عالم متناغم تجمع بين مكوناته علاقات عميقة متبادلة، وإن كانت مجردة. يقدم هذا إجابة عن التساؤل المحتمل عن «السبب وراء» وجود العائلتين الإضافيتين من الكواركات واللبتونات. قد يبدو من الممكن الخلاص منهما دون أن يؤثر ذلك على الكون بقدر ملموس، لكن لأن هذه الجسيمات يمكن الربط بينها بتناظرات مجردة عديدة، فيمكنها أن تشكل جزءًا من تجميعة فئوية أكبر، لا يمكن تفتيتها إلى أجزاء متفرقة. إننا نأمل أن تجد جميع الجسيمات، بما فيها الكواركات واللبتونات الأثقل غير المستقرة، في النهاية مكانًا طبيعيًّا لها في نموذج أعمق (على سبيل المثال، نظرية الأوتار التي سأتحدث عنها بعد قليل).

حين اقترح جيلمان وسويج نظرية الكوارك لأول مرة بدت كأنها تخمين بعيد النجاح، إلا أن الأدلة التجريبية المؤكدة على صحة وجود الكواركات تراكمت عبر السبعينيات والثمانينيات، ولم يعد هناك شك في وجودها. العجيب في الأمر هو أنه لم يستطع أحد أن يكتشف كواركًا معزولًا، فمن الخصائص العجيبة للقوة التي تربط الكواركات بعضها ببعض هو أنها تزداد مع زيادة المسافة. لذا من المحال، مثلًا، نزع أحد الكواركات من أحد البروتونات. إن الكواركات موجودة، لكن يبدو أنها ستظل دومًا حبيسة جسيمات أخرى أكبر.

رغم نجاح نموذج الكواركات واللبتونات هذا، فإنه لا يعطينا سوى نصف القصة، فحين جاء المؤمنون بالذرة من الإغريق بفكرة الجسيمات الأساسية، تمثل جزء أساسي من نظريتهم في قدرة هذه الجسيمات على الترابط بطرق متعددة. لذا لا بد من وجود نوع ما من القوى بينها. ومن دون شيء يربط الجسيمات بعضها ببعض، سيذهب كل منها في طريقه، ولن توجد المادة على الصورة التي نعرفها. تمثل دراسة القوى التي تربط بين جسيمات المادة النصف الآخر من القصة.

(٦) أربع قوى أساسية تفسر كل شيء

رغم التنوع الغني للأنظمة الفيزيائية التي يذخر بها الكون، من الذرات إلى المجرات، فإننا لا نحتاج سوى أربع قوى أساسية وحسب لتفسير خصائصه. لكن من الظاهر قد يبدو أن هناك العديد من القوى في الطبيعة، تغير شكل المادة وتحولها على جميع المستويات. أوضح هذه القوى هي قوة الجاذبية؛ قوة الجذب التي تبقي قدميك مثبتتين إلى الأرض. من القوى الملحوظة الأخرى قوة الجذب

الكهروستاتيكية؛ تلك القوة التي تجعل البالون بعد حكه بقطعة من الصوف يلتصق بالسقف أو تجعل الشعر ينتصب بعد تصفيفه. للمغناطيس أيضًا قوة جذب، أو طرد إذا أدرناه للناحية الأخرى. من الأمثلة الأخرى المألوفة ضغط الغاز الحبيس داخل بالون أو البخار المندفع من غلاية الماء. إلا أن التقصي الحريص يوضح أنه يمكن جمع كل تلك القوى في أربع قوى أساسية. إن الذرات، على سبيل المثال، تلتصق معًا لتكون جزيئات أو يبتعد بعضها عن بعض في تنافر استنادًا إلى الشحنة الكهربية التي تحتوي عليها (ونفس هذه الشحنات الكهربية هي المسئولة عن قوى الجذب الكهربية في مثال البالون السابق)، وكل قوة أخرى نقابلها في حياتنا اليومية، مثل الرياح التي تدفع أشرعة المراكب أو قوة الدفع التي تحرك عجلة التجديف، تأتي في النهاية من تلك الكهرباء الذرية، الموزعة على عدد كبير للغاية من الذرات. وفي الحقيقة تعد قوى الجاذبية والمغناطيسية والكهرباء مسئولة عن جميع ظواهر الحياة اليومية تقريبًا.

في أوائل القرن العشرين اكتُشفت قوتان جديدتان. نحن لا نلحظ هاتين القوتين في الحياة اليومية لأنهما تقتصران في عملهما على أنوية الذرات والتفاعلات القريبة بين الجسيمات دون الذرية. إحدى هاتين القوتين، والمسماة بالقوة النووية الشديدة، أو القوة الشديدة وحسب، هي المسئولة عن ربط الكواركات بعضها ببعض لتكوين الهدرونات. تعمل محصلة هذه القوة الشديدة العاملة بين الكواركات على الربط بين النيوترونات والبروتونات وتفسر تماسك نواة الذرة وقدرتها على التغلب على قوى التنافر الكهربي للبروتونات. قد تكون هذه القوة قوية للغاية، إلا أن مداها قصير جدًّا؛ إذ تهبط إلى الصفر بعد مسافة تبلغ حوالي واحد على التريليون من السنتيمتر. القوة النووية الأخرى تُعرف باسم القوة النووية الضعيفة، وهي المسئولة عن نوع من النشاط الإشعاعي، تلك الظاهرة التي تحدث حين تتحلل بعض الجسيمات النووية إلى جسيمات أخرى. على سبيل المثال، النيوترون المعزول يكون غير مستقر وسيتحلل في غضون دقيقة أو نحو ذلك إلى بروتون وإلكترون ومضاد نيوترينو. إن القوة النووية الضعيفة هي التي تسبب تحول العناصر. ونفس القوة تفسر أيضًا سبب تحلل الميوونات (وغيرها الكثير من الجسيمات الأخرى). وفيما يخص القوتين النوويتين نجد أن الهدرونات (أي الكواركات) تستجيب للقوتين الشديدة والضعيفة، في حين تشعر اللبتونات بالقوة الضعيفة وحسب.

القائمة السابقة يبدو أنها تحتوي على خمس قوى؛ الجاذبية والكهربية والمغناطيسية والقوتين النوويتين الشديدة والضعيفة، إلا أن اثنتين من هذه القوى؛

الكهربية والمغناطيسية، هما جانبان لقوة واحدة أشمل هي القوة الكهرومغناطيسية. اكتُشف الرابط بين الكهرباء والمغناطيسية في القرن التاسع عشر من خلال أعمال كل من مايكل فاراداي وهانز كريستيان أويرستيد وجيمس كلارك ماكسويل وغيرهم. من اليسير للغاية توضيح هذا الأمر؛ فالتيار الكهربي يولد مجالًا مغناطيسيًّا، وهي الظاهرة المستغلة في أجراس الأبواب وأجهزة التلفاز ومجففات الشعر وغيرها الكثير من الأجهزة المنزلية. وعلى العكس يولد المجال المغناطيسي المتغير قوى كهربية، ويمكنه جعل التيار الكهربي يتدفق لو كانت هناك دائرة كهربية. ومجددًا، هناك أمثلة شائعة على هذا الأمر مثلما نرى في المولدات الكهربية.

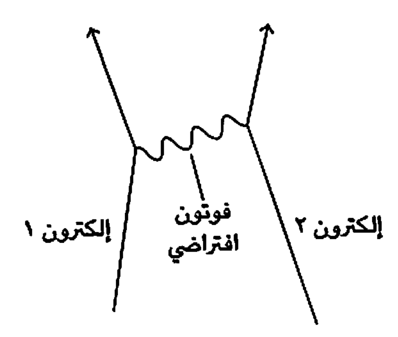
في خمسينيات القرن التاسع عشر تمكن ماكسويل من دمج المعادلات التي تصف الكهرباء بتلك التي تصف المغناطيسية، مع الوضع في الاعتبار التداخل بين القوتين. ربما كانت أهم نتيجة لهذا التوحيد هي اكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية. فلأن المجالات المغناطيسية المتغيرة تخلق مجالات كهربية، ولأن المجالات الكهربية المتغيرة تخلق مجالات مغناطيسية، توجد إمكانية لوجود ذبذبات داعمة لذاتها من المجالات الكهربية والمغناطيسية، بحيث يغذي كل منها الآخر. استخدم ماكسويل معادلات المجال المغناطيسي للتنبؤ بأن مثل هذه المجالات المتذبذبة يمكنها الانتقال عبر فراغ الفضاء الخاوي على صورة موجات. إضافة إلى ذلك أوضحت هذه المعادلات سرعة تلك الموجات. المهم في الأمر هو أنه حين حدد ماكسويل سرعة الموجات وجد أنها تساوي سرعة الضوء. كانت النتيجة واضحة: الضوء نفسه مكون من نوع من الموجات الكهرومغناطيسية. عمل الفيزيائيون على سبر أغوار الموجات الكهرومغناطيسية الأخرى، التي تنتمي في الأساس لنفس ظاهرة الضوء، لكن بأطوال موجية وترددات مختلفة. تتراوح هذه الموجات من موجات الراديو والموجات الميكرونية، مرورًا بدرجات الأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، ثم الأشعة فوق البنفسجية، وصولًا إلى الأشعة السينية وأشعة جاما (انظر شكل ٢-٥).

من الممكن وصف الجاذبية والكهرومغناطيسية على شكل مجالات. على سبيل المثال، يدور القمر حول الأرض لأن مجال الجاذبية للأرض يتفاعل مع القمر وينتج قوة جاذبة. وبالمثل، يمكن القول إن المغناطيس ينتج مجالًا مغناطيسيًّا يمتد ويتفاعل مع مغناطيس آخر. هذا النوع من الوصف مناسب على النطاقات الكبيرة، لكن في نطاق الذرات لن يفيدنا؛ لأن علينا أن نضع التأثيرات الكمية في الاعتبار.

(٧) كيفية عمل القوى على المستوى الكمي

تتطلب ميكانيكا الكم طريقة مغايرة تمامًا في التفكير بشأن كيفية عمل القوى، إليك بهذا الوصف المختصر: افترض أن إلكترونين يقتربان أحدهما من الآخر على نفس المسار. نظرًا لأن الشحنات الكهربية المتشابهة تتنافر، من المفترض أن يبتعد الإلكترونان أحدهما عن الآخر، ويطلق الفيزيائيون على هذه العملية اسم «التشتت». إلا أن ميكانيكا الكم تقدم وصفًا خاصًّا لكيفية تشتت الإلكترونين، وذلك باستخدام لغة الفوتونات. الفوتون هو أحد كموم المجال الكهرومغناطيسي، وهو الوجه الشبيه بالجسيم للموجات الكهرومغناطيسية (انظر الإطار ٣). وما يحدث حين يتشتت إلكترونان هو أن أحدهما يطلق فوتونًا والآخر يمتصه. نتيجة لذلك يرتد[8] كل إلكترون منهما قليلًا، وهذا الارتداد هو ما يرسلهما إلى مسارين مختلفين. هذه العملية موضحة في الشكل ٤-١. يطلق على الفوتونات التي يقتصر عملها على التبادلات الخاصة بين الإلكترونات (أو غيرها من الجسيمات) اسم «الفوتونات الافتراضية»، وذلك لتمييزها عن الفوتونات الأخرى «الحقيقية» التي تخرج من المصابيح الكهربية وتخلق في أمخاخنا الإحساس بالضوء.

تسمى الأشكال على غرار الشكل رقم ٤-١ باسم مخططات فاينمان، على اسم مبتكرها ريتشارد فاينمان. وهي مفيدة من أجل توصيل الفكرة العامة، إلا أنه لا ينبغي الاعتماد عليها اعتمادًا حرفيًّا. على سبيل المثال، يجعل المخطط عملية التشتت تبدو كأنها تغير مفاجئ في حركة كل إلكترون، إلا أن هذا أمر مضلل. في المعتاد ليس من الممكن تحديد أي الإلكترونين سيطلق الفوتون الافتراضي وأيهما سيستقبله، أو متى يحدث هذا. وفق قواعد ميكانيكا الكم ينبغي أن يضع المرء في حسبانه كل الاحتمالات عند حساب التأثير الصافي لعملية تشتيت إلكترون لآخر. إن كل عملية إطلاق للفوتونات وامتصاص لها تسهم في النتيجة، ولا يمكن لأي مخطط أن يجسد ما يحدث «في الحقيقة». إن محاولات تحديد أين ومتى يمكن للفوتون أن ينطلق تُحبَط بسبب قيود مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، لكن حين تُضمَّن جميع العمليات في الحساب يمكن استخلاص الحساب الدقيق منها جميعًا.[9] لكن حتى هذا ليس إلا جزءًا من القصة؛ فالمعادلات التي تصف عملية تشتت الإلكترونات (والمأخوذة من فرع الفيزياء المعروف باسم «الديناميكا الكهربية الكمية» Quantum Electrodynamics) لا يمكن أن تُحل بدقة تامة، لذا يُستخدم



شكل ٤-١: **كيفية تفاعل الجسيمات الكمية.** يوضح هذا المخطط، المسمى بمخطط فاينمان، الكيفية التي يقترب بها إلكترونان أحدهما من الآخر ثم يتشتتان نتيجة القوى الكهرومغناطيسية العاملة بينهما. لوصف هذه العملية باستخدام ميكانيكا الكم من الضروري التفكير في الإلكترونات بوصفها تتبادل فوتونًا «افتراضيًّا». حين تؤخذ جميع عمليات التبادل (أي جميع الفوتونات الممكنة) في الاعتبار وتُدمج في الحساب النهائي للتأثير الصافي، يتم الحصول على اتفاق مدهش مع التجربة.

نظام تقريبي، يتكون من تتابعات لا نهاية لها من معادلات أكثر تعقيدًا، كل واحدة منها تقربنا أكثر وأكثر من الإجابة.[10] إن مخطط فاينمان الموجود في الشكل ٤-١ هو أول حلقة في هذه السلسلة، وأبسط صور التقريب. للحصول على تقريب أكثر دقة سيكون عليك تدبر مخطط فاينمان يتم فيه تبادل اثنين من الفوتونات الافتراضية. وإذا أردنا دقة أعلى للحسابات فسيكون علينا أن نضمن عددًا من عمليات تبادل الفوتونات يصل إلى ثلاث أو أربع أو خمس، وهذا يتطلب منا المزيد والمزيد من الحسابات الأصعب. ومجددًا، تقضي قواعد ميكانيكا الكم بأن جميع الإمكانيات — كل أعداد الفوتونات المحتملة — تسهم في تأثير التشتت الصافي، رغم أن هذه الإسهامات تقل بشكل حاد (حمدًا لله!) مع إضافة كل فوتون جديد، ولهذا نادرًا ما يتواصل العمل في الفيزياء العملية لما بعد المستوى الثاني من التقريبات للحصول على تفسيرات أو تنبؤات دقيقة بشأن أغلب المشكلات موضع الدراسة.

إلى الآن كنت أصف عملية تنافر الإلكترونات، إلا أن نفس النظرية (باستخدام مفهوم تبادل الفوتونات الافتراضية) يمكن أن تُستخدم لوصف مجموعة من الظواهر الأخرى، على غرار انبعاث الضوء وامتصاصه وتشتته بسبب الجسيمات أو الذرات المشحونة، والتفاصيل الدقيقة للطاقة الذرية، وفناء الإلكترونات والبوزيترونات، والخصائص المغناطيسية للبتونات. على أي حال، حين تُجرى هذه الحسابات

بالشكل السليم يكون الاتفاق بين النظرية والتجربة مذهلًا. اختُبرت بعض التنبؤات في تجارب وحققت نسب دقة استثنائية وصلت في بعض الأحوال إلى أفضل من واحد في التريليون. يمد هذا الاتفاق القوي الفيزيائيين بالثقة في أن تفسير «تبادل الفوتونات» للديناميكا الكهربية الكمية صحيح.

في هذا الوصف الكمي يُعزى وجود التفاعل الكهرومغناطيسي بين اثنين من الجسيمات المشحونة إلى تبادل جسيم ثالث وهو الفوتون. يمكن تصور المجال الكهرومغناطيسي للجسيم المشحون على صورة سحابة من الفوتونات الافتراضية المحيطة بالجسيم. نفس المنطق ينطبق على القوى الأخرى؛ فقوة الجاذبية مثلًا تعمل عن طريق تبادل الجرافيتونات. لم يتمكن أحد من تبين وجود الجرافيتونات بطريقة مباشرة لأن قوة الجاذبية ضعيفة للغاية، لكن خصائصها يمكن استنتاجها مما نعرفه عن مجالات الجاذبية. تحتاج القوة النووية الضعيفة إلى جسيمي تبادل، يُطلق عليهما البوزون W والبوزون Z (في الواقع البوزون W له شحنة كهربية قد تكون موجبة أو سالبة، ويشار إليهما بالرمزين W^+ وW^-). القوة النووية الشديدة أكثر تعقيدًا وتتطلب ثمانية جسيمات تبادل — أو أكثر — لربط النيوترونات والبروتونات معًا، هذه الكموم تُعرف إجمالًا باسم الجلوونات. لذا لإكمال قائمة الكيفية التي يرتبط بها الكون بعضه ببعض قد يكون علينا أن نضيف إلى قائمة الستة كواركات والستة لبتونات (إلى جانب جسيماتهم المضادة) ما مجموعه اثنا عشر جسيم تبادل مسئولة عن القوى التي تعمل عليها. يلخص الجدول رقم ٤-٢ هذا.

(٨) القوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية متحدتان

إذا استخدمت الطبيعة عددًا كبيرًا من القوى لاكتفى الفيزيائيون بسردها في قائمة وحسب، لكن العدد أربعة عدد مثير للاهتمام؛ إذ إن المرء كان سيتوقع إما قوة واحدة أو عددًا كبيرًا جدًّا من القوى. يدفعنا هذا إلى التساؤل هل القوى الأربع، رغم تباينها في خصائصها، هي في الحقيقة قوة واحدة مجسدة في أربع صور مختلفة؟ كما أوضحت من قبل فإن القوتين الكهربية والمغناطيسية مرتبطان إحداهما بالأخرى منذ وقت طويل. هل يمكن أن تكون القوى الأخرى مرتبطة أيضًا في أعماقها؟ هذه فكرة مثيرة للاهتمام ولها تاريخ طويل. وفي خمسينيات القرن التاسع عشر حاول مايكل فاراداي دون نجاح أن يجد الرابط بين القوى الكهربية والجاذبية بإلقاء الأثقال وحساب تأثيراتها الكهربية.

جدول ٤-٢: تعمل قوى الطبيعة الأربع عن طريق تبادل الجسيمات ذات اللف المغزلي ١ و٢. الجلوونات الثمانية المختلفة مبينة هنا في بند واحد فقط لأنها تؤدي وظيفة متشابهة. لم يُكتشف الجرافيتون في التجارب العملية، لكن يُستدل على وجوده وخصائصه من النظريات الرياضية. الوحدات المستخدمة لكتلة البوزونات W وZ هي الوحدات الفنية التقليدية (المعروفة باسم GeV/c^2)، وللمقارنة، فإن كتلة البروتون في نفس الوحدات تبلغ ٠,٩٣٨٣. الشحنة الكهربية مذكورة في وحدات شحنة البروتون.

البوزونات		
القوى الكهروضعيفة الموحدة (لف مغزلي = ١)		
الاسم	الكتلة GeV/c^2	الشحنة الكهربية
γ فوتون	صفر	صفر
W^-	٨٠,٤	١−
W^+	٨٠,٤	١+
Z^0	٩١,١٨٧	صفر
القوى النووية الشديدة (اللون) (لف مغزلي = ١)		
الاسم	الكتلة GeV/c^2	الشحنة الكهربية
g جلوون	صفر	صفر
الجاذبية (لف مغزلي = ٢)		
الاسم	الكتلة GeV/c^2	الشحنة الكهربية
جرافيتون	صفر	صفر

مع الوقت جاء المزيد من توحيد القوى من مصدر غير متوقع، ففي ستينيات القرن العشرين تنبه الفيزيائيون إلى أوجه الشبه التي تجمع بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة. من الظاهر لم يبد أن هاتين القوتين يمكن الجمع بينهما؛ فالقوة النووية الضعيفة قصيرة المدى للغاية، ومقتصرة في عملها على الأبعاد دون النووية، في حين يمكن للمجالات الكهرومغناطيسية أن تمتد عبر المجرة بأكملها. أيضًا القوة الكهرومغناطيسية أقوى بكثير من القوة النووية الضعيفة، لكن النظر إلى عمل القوتين من منظور ميكانيكا الكم، والمتمثل

في مبادلة الجسيمات الافتراضية، يقرب القوتين إحداهما من الأخرى. منذ وقت بعيد والفيزيائيون يعرفون أن مدى القوة مرتبط ارتباطًا مباشرًا بكتلة الجسيم الافتراضي الذي تتبادله؛ فكلما عظمت الكتلة قصر مداها. ليس للفوتون كتلة،[11] لهذا تتمتع القوة الكهرومغناطيسية بمدى غير محدود. إن امتلاك القوة النووية الضعيفة لمثل هذا المدى القصير يعني أنها تتبادل جسيمات افتراضية ذات كتل مرتفعة. وإذا أمكن، بصورة ما، التخلص من كتلة جسيم التبادل للقوة النووية الضعيفة، تصير القوتان في واقع الأمر متشابهتين للغاية في الخصائص؛ متشابهتين بما يكفي على الأقل لوضع نظام رياضي مشترك لهما.

تم التوصل لهذا النظام على يد كل من شيلدون جلاشو وستيفن واينبرج والعالم الباكستاني محمد عبد السلام. وقد اقترحوا أن القوة النووية الضعيفة تنتقل من خلال الثلاثة جسيمات المشحونة W^+ وW^- وZ التي ناقشناها للتو. الفكرة الأساسية هي أن القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة «في أعماقهما» مزيج من القوى المتساوية، لكن هذا المصدر المشترك تخفيه الكتل المرتفعة للبوزونات W^+ وW^- وZ. لكن المهم في الأمر أن هذا النظام يعمل فقط إذا افترضنا أن البوزونات W^+ وW^- وZ هي فعلًا «عديمة الكتلة» — أي إنها لا تحوي كتلة جوهرية خاصة بها — بل هي تكتسب كتلها «الفعالة» (المرتفعة) بواسطة نوع جديد من التفاعل الفيزيائي يطلق عليه «آلية هيجز»، وسوف أتحدث عن هذه الآلية لتوليد الكتلة بشكل أكبر في الفصل الثامن. لكن الآن سأطلب منك أن تقبل بأن آلية هيجز تزيل العوائق أمام الوصول لوصف موحد للقوتين، وهذا يمكّن من وصفهما معًا وصفًا مرضيًا في مجموعة واحدة من المعادلات.

لكن ليست تلك نهاية المطاف؛ إذ تفسر النظرية التفاوت الهائل بين مستويات شدة القوتين. بشكل أساسي تتمتع القوتان بنفس مقدار الشدة «في أعماقهما»، لكن للحصول على القوة الفعالة المنخفضة للقوة الضعيفة، تطلب النظرية تقسيم طاقة الجسيمات المشاركة على كتل البوزونات W وZ. وبما أن تلك الكتل ضخمة للغاية تكون القوة الفعالة للقوة النووية الضعيفة في طاقات منخفضة ضئيلة للغاية. ومع ذلك، وهنا تقدم النظرية تنبؤًا قابلًا للاختبار بشكل قاطع، فإنه مع ارتفاع الطاقة ينبغي على القوة النووية الضعيفة أن تزداد قوة. وإذا رُفعت الطاقة بما يكفي سنكتشف أن القوتين، الضعيفة والكهرومغناطيسية، هما وجهان لـ «قوة كهروضعيفة» Electroweak Force موحدة. من سبل رفع الطاقة مصادمة

الجسيمات معًا بسرعات عالية. في عام ١٩٨٣ اختبر معمل كيرن نظرية القوة الكهروضعيفة عن طريق مصادمة بروتونات ومضادات البروتونات في طاقات تساوي عشرات أضعاف كتلة البروتونات، وبالفعل اكتُشف كل من جسيمي W وجسيم Z التي تنبأت نظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج بها.

(٩) النموذج المعياري

في الوقت ذاته لم يغفل المنظرون القوة النووية الشديدة، التي تربط الكواركات بعضها ببعض. تم التوصل إلى سيناريو يشبه ذلك الخاص بالديناميكا الكهربية الكمية، نظرية تفاعل الجسيمات المشحونة من خلال الفوتونات. تسير الفكرة على النحو الآتي: تحمل الكواركات نوعًا من «شحنة» القوى الشديدة التي تسمح لها بالتفاعل مع المجالات «القوية». يُطلق على الشحنة القوية اسم «اللون» (ولا علاقة لهذا المسمى بالمعنى الطبيعي للكلمة). كي تعمل النظرية بشكل صحيح ستحتاج ثلاثة ألوان (في مقابل نوع واحد من الشحنات الكهربية). وبدلًا من الفوتون ستحتاج ثمانية جسيمات تبادل، تعرف باسم الجلوونات، كي تبقي الكواركات ملتصقة معًا. اقترح ديفيد جروس وديفيد بوليتزر وفرانك ويلتشيك نظرية بهذا المعنى، تعرف بنظرية الديناميكا اللونية الكمية Quantum Chromodynamics (QCD)، عام ١٩٧٣، وهي تفسر بصورة أنيقة البيانات التجريبية المأخوذة عن الهدرونات.

من وجهة النظر التجريبية هذا أقصى ما استطعنا الوصول إليه. وقد أدمجت الاكتشافات العلمية التي وصفتها للتو — نظرية الكواركات، واللبتونات، وتوحيد القوى الكهروضعيفة — فيما يطلق عليه الآن «النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات». وهو يصف اثني عشر كواركًا واثني عشر لبتونًا (المبينين في جدول ٤-١) ويضم أيضًا نظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج للقوة الكهروضعيفة إضافة إلى نظرية الديناميكا اللونية الكمومية للقوة النووية الشديدة.

اختُبر النموذج المعياري بطرق عديدة على مدار الثلاثين عامًا الماضية ودائمًا ما أثبت صحته بشكل دامغ. ومع ذلك فالفيزيائيون يصرون على أنه ليس القول الفصل في هذا الموضوع. فبداية، تشير بعض التجارب الآن بالفعل إلى فيزياء جديدة تتجاوز نطاق النموذج المعياري، فيزياء من المفترض استيضاحها حين

يبدأ مصادم الهدرونات الكبير في العمل. أيضًا هناك بعض الحقائق التي لا يقول النموذج المعياري عنها شيئًا؛ على غرار الحاجة لثلاث عائلات من الكواركات واللبتونات، ووجود المادة المظلمة والطاقة المظلمة (وهو الموضوع الذي سأعود إليه في الفصل السادس). علاوة على ذلك، يحمل النموذج المعياري صبغة العمل غير المكتمل؛ إذ إن من ملامحه البغيضة تلك الصورة المترددة التي يجمع بها بين القوة الكهروضعيفة والقوة النووية الشديدة، التي تشبه وضع التفاح والكمثرى في نفس السلة، دون محاولة لربطهما معًا. يبدو النموذج المعياري كاستراحة تقع على نصف الطريق إلى النظرية التامة الموحدة التي فيها ستندمج القوتان الشديدة والكهروضعيفة في قوة واحدة فائقة.

من أوجه القصور الأخرى للنموذج المعياري تجاهله التام للقوة الأساسية الرابعة؛ الجاذبية. فرغم أن جميع الجسيمات تستشعر قوة الجاذبية، فإنها طفيفة بشكل لا يصدق حتى إن العمليات المتعلقة بالجاذبية على المستوى دون الذري تنزوي تمامًا تحت تأثير القوى الأخرى. أيضًا، يمكن اعتبار الجاذبية خارجة عن المجموعة لأنها يمكن أن توصف لا بكونها قوة، بل انحناء لهندسة الزمكان. هذه الخاصية الهندسية تجعل من العسير للغاية تقييد الجاذبية في حدود نوع التوصيفات الكمية الملائم ملاءمة جيدة لكل من القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الشديدة والضعيفة. ومع ذلك فسيكون من المستغرب وجود قوتين في الطبيعة، القوة النووية الشديدة/الكهروضعيفة وقوة الجاذبية. إن التوحيد المتتالي للجسيمات والقوى يوحي بوجود نظام واحد أكثر شمولًا؛ نظام رياضي واحد يضم «كل شيء». إن إغراء الوصول لنظرية نهائية — نظرية لكل شيء — ثبت أنه أمر لا يقاوم على امتداد أجيال من الفيزيائيين النظريين. والآن، كما يزعم بعض المتحمسين، قد نكون على شفا تحقيق هذا الهدف.

النقاط الأساسية

- المادة مكونة من ذرات، والذرات مكونة من إلكترونات وأنوية، والأنوية مكونة من بروتونات ونيوترونات، والبروتونات والنيوترونات مكونة من كواركات. هناك جسيمات أخرى إضافية، لكن أغلبها يتحلل بسرعة، ومعظمها مزيج من الكواركات والكواركات المضادة.

- أربع قوى أساسية — الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوتان النوويتان الشديدة والضعيفة — تكفي لتفسير كيفية سلوك المادة بكل أشكالها. على المستوى الكمي توصف القوى على أنها عملية تبادل للجسيمات الافتراضية.
- تنقسم جسيمات المادة إلى كواركات ولبتونات. تستشعر الكواركات القوة النووية الشديدة، لكن اللبتونات لا تستشعرها.
- القوى الأربع مترابطة على الأرجح. اثنتان منها، القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، جُمِعَ بينهما بنجاح على صورة قوة «كهروضعيفة».
- يضع النموذج المعياري للجسيمات النظرية الكهروضعيفة الموحدة إلى جانب نظرية القوة الشديدة المسماة بنظرية الديناميكا اللونية الكمية. النموذج ناجح لدرجة كبيرة في تفسير ما نعرفه عن فيزياء الجسيمات. إلا أن هناك بعض الحقائق المهمة التي لا يقدم لها النموذج المعياري تفسيرًا، لذا يعتبره الفيزيائيون الخطوة الأولى على طريق الوصول لنظرية أكثر شمولًا.

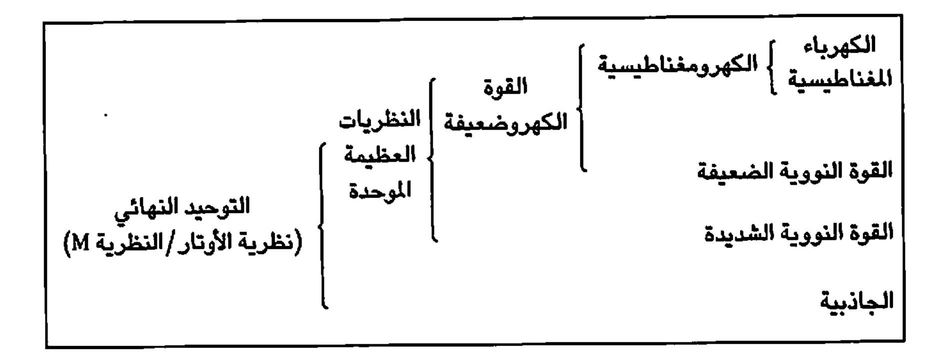
الفصل الخامس

إغراء التوحيد الكامل

(١) النظريات الموحدة العظمى

يسعى العلم بشتى مناحيه وراء التوحيد؛ فالعلم الذي نعرفه اليوم بدأ حين وجد جاليليو ونيوتن وغيرهما روابط بين حركة الأجسام على الأرض وحركة القمر والكواكب. ومن الروابط البارزة الأخرى اكتشاف ارتباط القوتين الكهربية والمغناطيسية إحداهما بالأخرى، وبالضوء، إضافة إلى معادلة أينشتاين «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» التي بينت أن الطاقة والكتلة شيئان متساويان. إن العثور على الروابط الخفية بين ما يبدو كأنه ظواهر غير مترابطة هو ما يجعل المنهج العلمي بهذه القوة والنجاح. يتفرد العلم بالتوسع والعمق؛ التوسع في طريقة معالجته للظواهر الفيزيائية، والعمق في طريقة ربطه بينها، بشكل حريص، في نظام تفسيري عام يتطلب قدرًا أقل وأقل من الافتراضات. ولا يمكن لأي نظام تفكير آخر أن يضاهي العلم في هاتين الصفتين.

كان دافع الذهاب لما هو وراء النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات واضحًا بالفعل في السبعينيات، وهو الوقت الذي بدأ فيه استخدام مصطلح «النظرية الموحدة العظمى»، ففي أعقاب التوحيد الناجح للقوة الكهروضعيفة (نظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج) نُشرت العديد من النظريات الموحدة العظمى التي تدعي توحيد القوة الكهروضعيفة بالقوة النووية الشديدة، باستخدام نفس الفكرة الأساسية لنظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج لكن مع تضمين الجلوونات الثمانية من الديناميكا اللونية الكمية أيضًا. قدمت نظريات التوحيد العظمى تنبؤًا واضحًا مثيرًا للاهتمام: وهو أن الاختلاف بين القوى الثلاث ينبغي أن يتلاشى مع ارتفاع الطاقة. أشارت الحسابات إلى أن القوى الثلاث ستكون متساوية في طاقة تبلغ



شكل ٥-١: توحيد القوى. يعتقد الفيزيائيون أنه بالإمكان الجمع بين جميع قوى الطبيعة، ربما في نظام موحد على غرار نظرية الأوتار أو النظرية M. من الناحية التاريخية كانت القوتان الكهربية والمغناطيسية هما أول قوتين تتوحدان (على يد ماكسويل في خمسينيات القرن التاسع عشر). بعد ذلك جُمع بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة في نظرية للقوة الكهروضعيفة على يد جلاشو وعبد السلام وواينبرج، وتأكدت صحتها تجريبيًّا. حاولت نظريات توحيد كثيرة الجمع بين القوة النووية الشديدة والقوة الكهروضعيفة، لكن إلى الآن لا يوجد أي دليل تجريبي. تُضَم الجاذبية إلى برنامج التوحيد هذا بوصفها الخطوة الأخيرة، وهناك من النظريات الرائجة ما يضمها على غرار نظرية الأوتار والنظرية M.

حوالي ١٠ تريليون مرة قدر الطاقة المطلوب لتوحيد الطاقة الكهروضعيفة (انظر الشكل ٥-١).

لسوء الحظ، من العسير بمكان الوصول لمثل هذه الطاقات الهائلة. وفي الواقع، يقع نطاق نظريات التوحيد العظمى خارج حدود أعلى طاقات الأشعة الكونية، وهو ما يجعل من الصعب، لكن ليس من المحال، اختبار هذه النظريات تجريبيًّا. على سبيل المثال تسمح بعض نظريات التوحيد بدرجة طفيفة من المزج، أو التداخل، بين القوة النووية الشديدة والقوة الكهروضعيفة. من تأثيرات ذلك السماح بنوع من التحول في طبيعة الجسيمات بشكل لم يكن مسموحًا به وفق النموذج المعياري؛ فمثلًا، في حالات نادرة، يمكن للكواركات أن تتحول إلى لبتونات، أو العكس بالعكس. ومن الصور التي يتجسد بها هذا التحول تحلل البروتونات من تلقاء نفسها إلى بوزيترونات. أُجريت تجارب للبحث عن هذا الأمر، لكن دون نجاح. وإذا حدث مثل هذا التفكك على الإطلاق، فلا بد أن له متوسط عمر يزيد عن $١٠^{٣٥}$ عام، وإلا لكنا لاحظنا حدوثه الآن.[1] سيكون لتحلل البروتونات تداعيات

عميقة على المصير النهائي للكون؛ إذ إنه يعني ضمنًا أنه عبر فترات مهولة من الوقت ستتبخر المادة العادية ببطء، وستختفي الغازات والغبار والصخور والكواكب، بل حتى البقايا المحترقة للنجوم، بشكل تام مع نهاية الزمان.

(٢) ماذا حدث لكل تلك المادة المضادة؟

إن احتمالية كون البروتونات غير مستقرة بدرجة مطلقة لها ارتباط وثيق بنشأة الكون أيضًا. فإذا كان بإمكان المادة أن تختفي، فيمكنها كذلك أن تظهر (بفعل عملية عكسية). هذا يقدم لنا مفتاحًا لحل واحد من أعمق ألغاز الكون: نشأة المادة. بشكل ما، تكونت المادة، في لمح البصر، من الطاقة الحرارية للانفجار العظيم. إلا أن علماء الكونيات يريدون أن يعرفوا «بالضبط» كيف حدث هذا، ولماذا بهذا القدر تحديدًا (10^{50} طن في الكون القابل للرصد). حين تُخلَّق المادة في المختبرات من واقع التصادمات عالية الطاقة يظهر مقدار مساوٍ من المادة المضادة أيضًا.[2] إذا احتوى الكون على مقدار متساوٍ من المادة والمادة المضادة فسنقع في ورطة كبيرة؛ فكلما امتزجت المادة بالمادة المضادة تلاشيتا في انفجار من أشعة جاما. وحتى في الفضاء الخارجي تحدث عمليات امتزاج كثيرة كهذه، عندما تتصادم سحب الغازات بعضها مع بعض مثلًا. وما لم تكن المادة والمادة المضادة معزولتين إحداهما عن الأخرى على نطاق واسع للغاية (أكبر من حجم المجرة)، فسيغرق الكون في فيضان من أشعة جاما. بحث علماء الفلك عن المادة المضادة، لكن دون نجاح، ومن ثم خلصوا إلى أن أقل من واحد على التريليون من حجم مجرتنا مكون من المادة المضادة. يفترض أغلب علماء الكونيات أن الكون القابل للرصد بأكمله مصنوع بشكل طاغ من المادة. وهذا، بالتبعية، يفرض السؤال المحير: كيف أنتج الانفجار العظيم 10^{50} طن من المادة دون أن ينتج 10^{50} طن مماثلة من المادة المضادة؟

من المؤكد أن التناظر بين المادة والمادة المضادة لا يمكن أن يكون تامًّا. لقد كسره شيء ما، جاعلًا الكفة تميل لمصلحة المادة على المادة المضادة. تنضوي نظريات التوحيد بشكل طبيعي على الانكسار الضروري لهذا التناظر، فإذا كان بمقدور البروتون التحول إلى بوزيترون، فيمكن إذن (بالسير بطريقة معاكسة) تحويل زوج إلكترون-بوزيترون إلى زوج إلكترون-بروتون، وهو ما يعني وجود ذرة هيدروجين دون وجود ذرة هيدروجين مضادة مصاحبة لها. لكن مهما تكن

كيفية عمل ذلك، يمكن أن تسير قصة نشأة المادة على النحو الآتي: تسبب الإشعاع الحراري الناتج عن الانفجار العظيم في إنتاج كميات متماثلة من المادة والمادة المضادة، مختلطة بعضها ببعض، لكن مع زيادة «طفيفة» في المادة. مع برود حرارة الكون دُمِّرَت المادة المضادة بفعل اقترانها بالمادة، تاركة قدرًا بسيطًا من المادة التي لم تُمس، حوالي جزء في المليار. تسبب الفناء الكلي للمادة والمادة المضادة في غمر الكون بفوتونات أشعة جاما. أين هي الآن؟ الجواب هي أنها فقدت أغلب طاقتها مع تمدد الكون وبرودته، وفي النهاية تحولت إلى فوتونات للأشعة الميكرونية. وهي التي تؤلف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. وبهذا يكون هذا الإشعاع الخافت هو بقايا الفناء الأولي للمادة المضادة في بداية الزمن.

بالنظر للأمر من هذه الزاوية لا تبدو المادة إلا نتاجًا كونيًّا ثانويًّا، لكن يا له من نتاج ثانوي هام! فدون المادة لم تكن هناك حياة، ومن ثم لم نكن لنوجد، ناهيك عن وجود الكون المرئي، المتعلق بقاؤه بدرجة طفيفة من عدم التناظر بين المادة والمادة المضادة، الذي بدوره يعتمد على كيفية تفاعل الكواركات واللبتونات والقوى التي تربطها كمزيج واحد وفق نظام كلي أعظم لم يتحدد بعد.

(٣) التناظر الفائق

من السهل تبين السبب وراء هوس الفيزيائيين بفكرة التوحيد؛ فالعدد الغزير من الجسيمات دون الذرية رُتب بنجاح في نظام منمق رأيناه في الجدول رقم ٤-١، كما قُللت القوى الأربع إلى ثلاث، وربما اثنتين، مع وجود قوة واحدة فائقة تلوح في الأفق (انظر شكل ٥-١). وبهذا يصير التجميع هو اسم اللعبة. إلا أن المنظرين وضعوا أعينهم منذ وقت طويل على مشروع أكثر طموحًا للتوحيد، نظام يربط الجسيمات بالقوى. وما يفتح الباب أمام هذا الاحتمال المبهج هو حقيقة أن القوى يمكن تفسيرها على أساس عملية تبادل للجسيمات، كما أوضحنا في الشكل ٤-١. لماذا إذن لا نخرج بنظرية تتجمع فيها «كل» الجسيمات — جسيمات المادة وجسيمات التبادل — في عائلة واحدة فائقة؟

لكن قبل أخذ هذه الخطوة ينبغي توضيح الاختلاف الأساسي بين نوعي الجسيمات محل الحديث هنا، وهذا الاختلاف يتعلق بخاصية اللف المغزلي لها. تحمل جميع الجزيئات الأساسية للمادة — الكواركات واللبتونات — لفًّا مغزليًّا

قدره ١ /٢. وعلى النقيض تحمل جسيمات التبادل المعروفة لفًّا مغزليًّا قدره ١ (يحمل الجرافيتون — لو أن له وجودًا — لفًّا مغزليًّا قدره ٢). قد لا يبدو هذا إلا اختلافًا فنيًّا غير مؤثر، لكنه ليس كذلك؛ إذ يؤثر اللف المغزلي للجسيم بشدة على خصائصه، خاصة على الطريقة التي تتصرف بها الجسيمات تصرفًا جماعيًّا. الجسيمات ذات اللف المغزلي ١ /٢ تطيع القاعدة المعروفة باسم مبدأ استبعاد باولي، والمسمى على اسم فولفجانج باولي مكتشف هذه القاعدة في العشرينيات. يمنع هذا المبدأ أكثر من جسيم واحد من نفس النوع من أن يحتل نفس الحالة الكمومية في نفس الوقت (على سبيل المثال، لا يمكنك حشر إلكترونين بحيث يكونان مقتربين للغاية أحدهما من الآخر)، ولهذا المبدأ تبعات بعيدة مهمة: صلابة المادة، وتركيبة الذرات، وقواعد الكيمياء، وثبات النجوم، وهذه ليست إلا أمثلة قليلة.

لا ينطبق مبدأ باولي على جسيمات التبادل التي توصل القوى، لأن لها لفًّا مغزليًّا قدره ١ و٢، ولا يوجد حد أقصى لعدد الجسيمات من هذا النوع التي يمكنها التجمع معًا،[3] ففي شعاع الليزر، مثلًا، يشغل عدد لا حصر له من الفوتونات نفس الحالة الكمومية. تُعرف الجسيمات صحيحة المغزل (٠، ١، ٢، ...) بالبوزونات (على اسم ساتندرا بوز)، فيما تُعرف الجسيمات نصفية المغزل (١/٢، ٣/٢، ...) بالفرميونات (على اسم إنريكو فيرمي). وعلى هذا يتطلب توحيد المادة والقوى توحيد البوزونات والفرميونات، إلا أن هذه الجسيمات متباينة بما يجعل هذه المهمة تبدو مستحيلة من البداية. لكن في عام ١٩٧٣ عُثر على حل يتفادى هذه المشكلة. لفهم هذا الحل عليك بامتلاك بعض الفهم الأساسي عن طبيعة اللف المغزلي الذاتي للجسيم. يتصرف الجسيم ذو اللف المغزلي ١ /٢ على نحو عجيب حين يدور محوره (من الممكن لف محاور دوران الجسيمات دون الذرية بتعريضها لمجال مغناطيسي). فكر في جسم كبير دوَّار كالكوكب، إذا أدرته ١٨٠ درجة حول خط يمر بخط استوائه (عمودي على محور دورانه) فسيتبدل مكان القطبين الشمالي والجنوبي، وإذا أدرته بمقدار ١٨٠ درجة أخرى فسيعود إلى وضعه الأصلي. لا مشكلة في هذا الجزء، لكن الآن يأتي الجزء العجيب. إذا قمت بنفس الأمر على الإلكترون (أو أي فرميون ذي لف مغزلي قدره ١ /٢) فسيكون عليك أن تديره بمقدار ٧٢٠ درجة، أي لفتين كاملتين، قبل أن يعود إلى وضعه الأصلي! هذه خاصية أخرى يستحيل تخيلها من خصائص ميكانيكا الكم، لكن لا شك في صحتها. بصورة ما تملك الفرميونات ما يشبه النظرة المزدوجة للعالم.

وهنا يكون مفتاح الوصول إلى نظرية موحدة تجمع الفرميونات والبوزونات هو إيجاد وصف هندسي يضم نوعي الدوران كليهما في نظام رياضي واحد. وبالفعل اكتُشف هذا النظام على يد كل من جوليوس ويس وبرونو زومينو، ويطلق عليه «التناظر الفائق» Supersymmetry.

إذا كان التناظر الفائق موجودًا في الطبيعة فسيكون لهذا تأثير شامل؛ إذ سيكون لكل فصيلة من الفرميونات شريك فائق التناظر من البوزونات، والعكس بالعكس. وعليه، من الممكن ربط الإلكترون بما يسمى «نظير الإلكترون»، شريكه فائق التناظر ذي اللف المغزلي صفر. (الجسيم ذو اللف المغزلي صفر هو بوزون ليس له لف مغزلي ذاتي.) وبهذا ينبغي أن يكون لدينا نظير للكوارك، ونظير للنيوترينو، وهكذا دواليك. وبالعكس، يتزامل الفوتون مع جسيم له لف مغزلي نصفي يسمى نظير الفوتون. ومن ثم سيكون لدينا نظير للجسيم W ونظير للجسيم Z ونظير للجلوون، ونظير للجرافيتون (الأخير سيكون فرميون ذا لف مغزلي قدره ٣/٢). كل هذا موضح في الجدول رقم ٥-١. الأمر خلاب بحق، باستثناء أنه إلى اليوم لم يُعثر على أي شريك فائق التناظر من أي نوع. لكن هذا لا يعني أن التناظر الفائق غير صحيح. لو كان التناظر تامًّا فسيحمل نظير الإلكترون نفس كتلة الإلكترون، وسيحمل نظير الجسيم W نفس كتلة الجسيم W، وهكذا. لكن لو أدت آلية فيزيائية ما لكسر هذا التناظر فستجعل جميع الشركاء فائقي التناظر ذوي حجم هائل. ولن يكون من قبيل المفاجأة عندئذٍ أن نجد أن هذه الجسيمات النظيرة لم تُخلَّق بعد في تصادمات المعجلات (رغم أنها قد تكون موجودة في الأشعة الكونية أو المادة المظلمة). يعلق كثير من علماء الفيزياء آمالهم على مصادم الهدرونات الكبير في معمل كيرن، الذي يتنبئون بقدرته على تكوين شريك فائق التناظر واحد على الأقل. ولو حدث هذا فستتأكد فكرة أن المادة والقوى ليسا إلا جانبين لنظام واحد أساسي فائق التناظر.

(٤) كارثة في الأعماق

إلى الآن كنت أستخدم كلمة «الجسيم» بمعناها العام، دون ذكر أي شيء بخصوص حجمه أو شكله. لكن يجب الآن مواجهة هذه القضية. كيف يمكننا أن نتصور، مثلًا، الإلكترون؟ من المغري أن نفكر فيه ككرة صغيرة ذات شحنة كهربية موزعة

جدول ٥-١: يتنبأ نظام رياضي مُرْضٍ يسمى بالتناظر الفائق بأن كل نوع معروف من الجسيمات ينبغي أن يكون مصحوبًا بشريك له لف مغزلي مخالف، وبهذه الصورة يكون لكل فرميون بوزون مقترن به، والعكس بالعكس. لم يُكتشف أي شريك فائق التناظر إلى الآن، وهو ما يشي بأن الطبيعة لا يمكن أن تكون متناظرة تناظرًا كاملًا.

التناظر الفائق				
لف مغزلي صفر	لف مغزلي ١/٢	لف مغزلي ١	لف مغزلي ٣/٢	لف مغزلي ٢
جسيم هيجز	نظير جسيم هيجز			
نظير اللبتون	اللبتون			
نظير الكوارك	الكوارك		نظير الجرافيتون	الجرافيتون
	نظير الجلوون	الجلوون		
	نظير الفوتون	الفوتون		
	نظير الجسيم Z	الجسيم Z		
	نظير الجسيم W	الجسيم W		

في أرجائه. لكن لو كان الإلكترون على هذه الصورة فسيفتح هذا الباب أمام أسئلة مربكة على غرار: ما المادة الموجودة داخل الإلكترون، وكيف تتماسك بعضها مع بعض، خاصة وأن الشحنة الكهربية متنافرة وستحاول تمزيق هذه الكرة إربًا؟ ومن البديهي أنه لو كان بالإمكان تقسيم الإلكترون لوحدات أصغر فلن يعد وقتها عنصرًا أوليًّا من الأساس.

من سبل تجاوز هذه المشكلة التفكير في الإلكترون بوصفه كرة مصمتة تمامًا ككرة الجولف، فهذا سيجعله غير قابل للتقسيم. إلا أن هناك مشكلة تقابل ذلك الاقتراح، وهي تتعلق بنظرية النسبية (التي تنطبق حتى على مستوى الجسيمات دون الذرية). تخيل أنك ضربت كرة جولف بمضرب مرسلًا إياها في الهواء. لأنها مصمتة بالكامل فستتحرك كرة الجولف دون أي تغير في شكلها؛ بحيث تبدأ جميع أجزاء الكرة في التحرك معًا، لكن هنا ستقابلنا عقبة: لا يمكن لقوة أن تتحرك بسرعة تتجاوز سرعة الضوء، وبهذا فإن الضربة الموجهة لأحد جوانب الكرة لا يمكن الشعور بها من الجانب الآخر إلا على الأقل بعد الوقت الذي يستغرقه الضوء في التحرك من طرف الكرة للطرف الآخر. من ثم سيبدأ الطرف الذي تلقى الضربة

بالتحرك قبل الطرف المقابل، وهذا سيجعل شكل الكرة يتغير، إذ ستكون أكثر انضغاطًا. يستتبع هذا أن الكرة المصمتة يجب أن تتمتع بقابلية معينة للانضغاط؛ يعني هذا أن الأجسام المصمتة «تمامًا» لا تتفق مع نظرية النسبية. لكن لو أمكن للإلكترون أن ينضغط يمكن بالتالي أن يتمدد، ويمكن أيضًا، إذا تعرض لقوة كافية، أن يتمزق إربًا. لذا لا يمكن للإلكترون إذا كان على شكل كرة الجولف الصغيرة أن يكون جسيمًا أوليًّا هو الآخر.

لكن ماذا لو تخيلنا أن الكرة الصغيرة انكمشت إلى نقطة وحيدة؟ هنا لن يأخذ الضوء أي وقت للانتقال عبر محيطها (البالغ صفرًا). لسوء الحظ يحل هذا التصور مشكلة ويخلق أخرى، فهناك شحنة كهربية موزعة في أرجاء الكرة الصغيرة. الآن تخيل أنك تحاول تقليص الكرة، مع شحنتها الكامنة، إلى قطر أقل وأقل. يتطلب ضغط الشحنة الكهربية إلى أحجام أصغر وأصغر بذل المزيد من الطاقة للتغلب على قوى التنافر الكهربي. ووفق قانون التربيع العكسي للقوى الكهربية المُكتشف في القرن الثامن عشر على يد شارل كولوم،[4] فإن التنافر بين أجزاء الكرة سيرتفع دون حدود كلما صارت الشحنة محصورة في حجم أصغر وأصغر. سنحتاج كمية طاقة لانهائية لضغط الكرة إلى قطر الصفر، وهذه الطاقة ستكون مخزنة داخل الإلكترون. بالوضع في الاعتبار معادلة أينشتاين «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» سيكون للطاقة الداخلية غير المحدودة للإلكترون نتيجة سخيفة مفادها أن الإلكترون نفسه سيكون له كتلة غير محدودة. وهكذا تواجهنا هذه المعضلة: لا يمكن أن يكون الإلكترون نقطة أو كرة محددة دون أن يتعارض ذلك بشكل صارخ مع الواقع.

قد تظن أن ميكانيكا الكم ستهب لإنقاذنا من هذه الورطة، فمن خلال عدم التحديد الدقيق للحيز المكاني للجسيم الشبيه بالنقطة، قد نتمكن من الالتفاف حول مشكلة تجمع جميع أجزاء الشحنة الكهربية في نقطة واحدة. لكن ميكانيكا الكم، في الواقع، تزيد المشكلة سوءًا. لمعرفة السبب وراء ذلك تذكر الكيفية التي تنتقل بها القوى في ميكانيكا الكم، من خلال تبادل الفوتونات (انظر شكل ٤-١). نفس هذه القوى ستعمل بين الأجزاء المتعددة للشحنة الموزعة في أرجاء «الكرة الصغيرة»، وهو ما يعني وجود حشد من الفوتونات الافتراضية التي تحيط بالإلكترون وتخترقه. تظهر الحسابات أن قوة هذا الحشد تزيد مع صغر حجم الإلكترون؛ لأن الفوتونات الافتراضية الأقرب تكون أنشط. ترتفع الطاقة الكلية

للحشد بصورة لانهائية مع انكماش قطر الإلكترون إلى الصفر. لا يهم أن يكون الحيز المكاني للإلكترون غير محدد بدقة؛ فمهما يكن مكانه فإن السحابة هناك تغلفه بكميات هائلة من الطاقة، ومن ثم المادة.

ما الذي نستنتجه من كل هذا؟ باستخدام الحيل الرياضية يستطيع علماء الفيزياء الالتفاف حول الكميات اللانهائية واستخدام نظرية الديناميكا الكهربية الكمية للحصول على إجابة معقولة عن الأسئلة المتعلقة بكتلة الجسيمات ومستويات الطاقة وعمليات التشتت وغيرها. تظل النظرية ناجحة لحد بعيد، لكن حقيقة وجود الكميات اللانهائية تشير إلى أن شيئًا ما خطأ، وأن شيئًا ما بحاجة للإصلاح.

يمكن تطبيق نفس التحليل الأساسي على مجال الجاذبية، فتقليص الكرة إلى قطر الصفر سيعني وجود طاقة جاذبية لانهائية. (وصفت بالفعل في الفصل الثالث نقطة التفرد الزمكاني التي ستنتج عن هذا.) من منظور ميكانيكا الكم تنتقل قوة الجاذبية من خلال الجرافيتونات، ويمكن تصور نطاق الجاذبية المحيط بالجسيم على صورة سحابة من الجرافيتونات الافتراضية. ومثل الحالة الكهرومغناطيسية سنواجه بحالة من اللانهائية. لكن مع الجرافيتونات تكون المشكلة مضاعفة، فأي جسيم أشبه بالنقطة (على سبيل المثال، الإلكترون) سيكون محاطًا بسحابة من الجرافيتونات الافتراضية تحتوي على طاقة لانهائية، لكن لأن الطاقة مصدر للجاذبية فإن الجرافيتونات نفسها تسهم في مجال الجاذبية الإجمالي. (ومن ثم تولد الجاذبية مزيدًا من الجاذبية.) وبهذا يملك كل جرافيتون افتراضي، في السحابة المحيطة بالجسيم الأساسي، سحابته الخاصة من الجرافيتونات المتجمعة حوله، وهكذا إلى ما لا نهاية؛ سحب تغلف سحبًا تغلف سحبًا ... وكل واحدة تحتوي على طاقة لانهائية! هذه المرة لا يمكن التغاضي عن مشكلة الطاقات اللانهائية بسهولة. إن الوصف الكمي المباشر لمجال الجاذبية ينتج متوالية غير محدودة من اللانهائيات، وهذا يقضي على أي أمل في التوصل لتنبؤات معقولة من واقع هذه النظرية.[5]

(٥) الأوتار: نظرية كل شيء؟

لازمت مشكلة اللانهائيات، خاصة تلك التي تنشأ عن تطبيق ميكانيكا الكم على مجال الجاذبية، موضوع فيزياء الجسيمات لعقود، لكن في ثمانينيات القرن

العشرين وجد علماء الفيزياء طريقة لتفاديها. الفكرة الأساسية هي التخلي عن فكرة الجسيمات بصورة كلية واستبدالها بأوتار مرنة، تتحرك وفق قواعد ميكانيكا الكم. في أبسط صور النظرية الجديدة، تشكل الأوتار حلقات مغلقة، لكنها صغيرة للغاية حتى إننا سنحتاج لسلسلة من مائة مليار مليار حلقة كي تلتف حول نواة الذرة الواحدة. وبهذا يصير ما كنا ننظر إليه فيما سبق على أنه جسيم، كالإلكترون، في حقيقته (وفق هذه النظرية) حلقة من الأوتار، فقط نحن لا نستطيع رؤيته بهذه الصورة لأن الحلقة صغيرة للغاية.

الجانب الجذاب في نظرية الأوتار هو أنك تحتاج لنوع واحد فقط من الأوتار لتكوين «جميع» الجسيمات: الفرميونات والبوزونات، وجسيمات المادة وجسيمات التبادل، كل شيء. يمكن أن يهتز الوتر بأنماط متعددة، وكل نمط منها يتوافق مع جسيم مختلف؛ فإذا اهتز الوتر بطريقة ما فالجسيم إلكترون، وإذا اهتز بصورة مغايرة يصير كواركًا، وهكذا. تقدم نظرية الأوتار وصفًا طبيعيًّا لكل الجسيمات المعروفة. وهي تضمن مفهوم التناظر الفائق، وبهذا فهي تصف أيضًا الجسيمات الشريكة فائقة التناظر. (ولهذا السبب أحيانًا يشار إليها بنظرية الأوتار الفائقة.) لا تسأل مِمّا تتكون الأوتار نفسها؛ فالفكرة كلها تعتمد على أنها كيانات أولية غير قابلة للتفكك يُبنى منها كل شيء آخر. وفي هذا الجانب تكون الأوتار شبيهة للغاية بروح النظرية الذرية الأصلية للمادة، لكن مع مزية إضافية؛ فهي تفسر أيضًا كيفية تفاعل الجسيمات بعضها مع بعض دون إدخال مفهوم جديد؛ إذ إن القوى أيضًا تخرج من عباءة نظرية الأوتار بفضل حركات الأوتار التي تصف جسيمات التبادل المختلفة كالفوتون والجلوونات. أهم ما في الأمر هو أن نظرية الأوتار أفضت إلى نتائج محددة في جميع الحسابات التي أجريت إلى الآن، بما فيها تلك التي تضمنت الجاذبية، وبهذا هي تعد بتجنب تلك المعضلة الرياضية الخاصة بالكميات اللانهائية.

إن الأوتار صغيرة للغاية حتى إنه من العسير تخيل الكيفية التي يمكن بها ملاحظتها بشكل مباشر، وهذا يضعنا في موقف مشابه لموقف الفلاسفة الإغريق الذين افترضوا وجود الذرات دون أن يكون لديهم أمل في رؤيتها. يحتاج الكشف عن تفاصيل الأوتار معجلات جزيئية أقوى بتريليونات المرات من أقوى ما تم بناؤه إلى الآن. وحتى الأشعة الكونية ذات الطاقة الأعلى لا تزال أقل من المستوى المطلوب بمليارات المرات. لن يكون افتقاد البرهان المباشر على وجود الأوتار بالمشكلة الكبيرة

لو قدمت النظرية تنبؤات واضحة عن العالم ذي الطاقة المنخفضة نسبيًّا الذي يمكننا التحقق منه بالتكنولوجيا التي نملكها بالفعل، لكن هذا لم يحدث (على الأقل ليس بعد). وبهذا تتعامل نظرية الأوتار مع ذلك المجال المتقلقل للطاقات العالية والمسافات فائقة الصغر، وإلى الآن ليس لديها ما تقوله بشأن الفيزياء الحقيقية التي تحدث في المختبرات.[6]

قضية أخرى تتعلق بالمكان الذي تتحرك فيه الأوتار، المكافئ الوتري لفراغ ديموقريطس. هناك أمل بأن يظهر المكان والزمان في نظرية الأوتار كجزء من وصفها للواقع، لكن هذا لم يتحقق بعد؛ إذ عليك أن تفترض أن المكان والزمان موجودان بالفعل كي يوفرا ساحة تتحرك فيها الأوتار. لكن الأمر أسوأ من ذلك، ففي أبسط صياغات نظرية الأوتار من الضروري افتراض وجود المزيد من الأبعاد في الفضاء، بمعنى أنه لا بد من إضافة المزيد من الأبعاد إلى أبعاد الفضاء الثلاثة المعتادة. ولأننا لا نعي أبعاد الفضاء الإضافية علينا ابتكار آلية لإخفائها، عملية «الدمج» التي وصفتها في الفصل الثاني. لا يعد دمج أبعاد إضافية للفضاء في حد ذاته مشكلة أمام النظرية، رغم صعوبة تخيله. لكن القضية الشائكة بحق هي حقيقة أن طوبولوجيا الأبعاد المدمجة وشكلها ليسا متفردين. وليس هذا إلا وصفًا هينًا للأمر؛ فحتى العدد القليل من الأبعاد يمكن دمجه في عدد هائل من الأشكال، وكل ترتيب يؤدي إلى جسيمات وقوى مختلفة في الثلاثة أبعاد المتبقية (غير المدمجة) للعالم.[7] وفق نظرية الأوتار فإن عالمنا يتوافق مع واحد فقط من هذه الأشكال المدمجة، لكن أيها؟ وماذا عن البقية؟ ما أنواع العوالم التي تصفها؟ على حد علمنا ستكون هذه عوالم مختلفة للغاية عن العالم الذي نرصده؛ إذ قد يكون في بعضها عشرة أنواع من النيوترينوات وليس ثلاثة فقط، أو خمسة أنواع من الفوتونات. وقد تحوي عوالم أخرى أربعة أنواع من الكواركات فقط، أو حتى أربعين. قد تكون هناك عوالم القوى الكهرومغناطيسية فيها أقوى من القوى النووية الشديدة، أو تكون فيها ثماني قوى أساسية وليس أربعًا، وهكذا. من الواضح أن عالمنا ليس إلا احتمالية وحيدة ضمن عدد مربك من البدائل. ونظرًا لأن هدف نظرية الأوتار في الأساس هو توحيد الطبيعة فسيبدو تنبؤها بعدد مهول من العوالم البديلة خطوة للوراء لا إلى الأمام.

يختلف أنصار نظرية الأوتار حول الكيفية التي ستُحل بها مشكلة التعدد تلك؛ فالبعض يعلق آماله على فهم أفضل للبنية الرياضية للنظرية، التي يؤمنون

بقدرتها على انتقاء حالة فريدة بعينها، على نحو أشبه بالحالة الأرضية لذرة الهيدروجين مثلًا، وهي أكثر الحالات ثباتًا ومن ثم أكثرها ترجيحًا. إذا كانوا محقين فحري إذن بفيزياء الطاقة المنخفضة التي تصفها هذه الحالة أن تنطبق على العالم الذي نرصده، وإلا ستُكذَّب النظرية على الفور. لكن آخرين من أنصار نظرية الأوتار تخلوا عن أمل الوصول لحل وحيد للمعادلات التي ستظهر وواجهوا بجرأة تبعات تلك الزيادة الهائلة للعوالم المختلفة الممكنة. وفي الواقع نجح هؤلاء في تحويل الخطيئة إلى فضيلة، وكما سأشرح في الفصل التالي، فقد استعانوا بالتعدد الكبير للعوالم المحتملة في محاولة تفسير تأثير جولديلوكس.

(٦) النظرية M

واجهت نظرية الأوتار عقبة أخرى حين اكتُشف أنه لا توجد نظرية واحدة فقط، بل خمس. لفترة من الوقت بدا أن تعدد النظريات هذا، إلى جانب العدد الكبير من أشكال الاندماج البديلة، سيقوض الفكرة بأكملها. لكن في الوقت الذي بدأ الحماس فيه يفتر، جاء الإنقاذ من ناحية غير متوقعة تمامًا. ففي أواسط الثمانينيات اقترحت مجموعة صغيرة من العلماء أن الأوتار التي تتحرك في عشرة أبعاد (تسعة مكانية وواحد زماني) ربما يمكن وصفها بشكل أكثر أناقة على صورة صفحات، أو أغشية، تتحرك في أحد عشر بُعدًا (فالصفحة حين تُطوى كالماصة ستبدو مثل الوتر).[8] لسنوات لم تحظ فكرة الغشاء باهتمام كبير، لكن في أواسط التسعينيات وجد جو بولشينسكي من معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربرا أنه في النظريات التي لم تكن فيها الأوتار مغلقة على شكل حلقات، بل كانت نهاياتها مفتوحة، كانت تلك النهايات تنتهي في أغشية.[9]

قلبت تلك الطفرة الموازين. بيَّن عالم الفيزياء الرياضية اللامع إد ويتن، من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، أن وصف الغشاء يوحد النسخ الخمس المختلفة من نظرية الأوتار. وقد أطلق على هذا المشروع الذي بُثت فيه الحياة من جديد اسم النظرية M، حيث يرمز الحرف M إلى membrane بمعنى الغشاء، أو mystery بمعنى الغموض، أو magic بمعنى السحر، حسبما يروق لنا. أكثر خيار مناسب هنا هو الغموض؛ لأن البنية الرياضية للنظرية M تظل محيرة

وغير مكتشفة بالكامل بعد. تعد نظريات الأوتار الخمسة السابقة بمنزلة خمسة أركان للنظرية M، حيث يمكن فيها إجراء الحسابات، إلا أنه لم يدون أحد إلى الآن المعادلات التي تحكم النظرية M تدوينًا كاملًا، ناهيك عن حلها. رغم هذا الإبهام فقد ولّدت النظرية M حماسًا هائلًا. إن الاكتشافات التي تمت فيما يخص البنية الرياضية للنظرية مفاجئة وواعدة بدرجة كبيرة حتى إنها توصف بالمعجزة (معجزة بالإنجليزية تعني miracle، ها هو سبب آخر لتسميتها بالحرف M). هذه الشذرات الرياضية تقدم لمحات مغرية عن هذه النظرية ذات القوة والأناقة الاستثنائية التي لم تخضع للاستكشاف الكامل بعد، والتي قد تكون مفتاح فهمنا لهذا الكون.

رغم أن النظرية M تعد تقدمًا دون شك، فإنها تستخدم فروعًا من الرياضيات ليست فائقة التجريد وحسب، بل يغلب عليها الغموض بشكل كبير. وفي الحقيقة وجب اختراع بعض القواعد الرياضية مع تقدم النظرية. هذه الصعوبة البالغة تجعل كثيرًا من الفيزيائيين (وبالتأكيد أنا منهم) عاجزين عن ملاحقتها، وهو ما يجعل علماء نظرية الأوتار/النظرية M يفقدون ارتباطهم بالواقع. لا أحد يعرف إلى أين ينتهي المطاف بهذه النظرية. ربما عثر أصحاب نظرية الأوتار/النظرية M بالفعل على كأس العلم المقدسة، وفي هذه الحالة قد يخبرون بقيتنا يومًا ما عن كيفية عملها. ومن الجائز أيضًا أنهم لا يطاردون إلا سرابًا. الوقت وحده سيعرفنا الحقيقة. عبر ميشيو كاكو، أحد مناصري نظرية الأوتار، عن مخاوفه في مقال قريب له قائلًا: «إذا كانت نظرية الأوتار نفسها خاطئة فهذا يعني أن ملايين الساعات وآلاف الأبحاث العلمية، ومئات المؤتمرات، وعشرات الكتب (من بينها كتابي هذا)، ضاعت سدى. وأن ما ظننا أنها «نظرية كل شيء» اتضح أنها «نظرية للا شيء».»[10]

مهما تكن نتيجة هذا المشروع الضخم فهو على الأقل يستحق أن يوصف بأنه «محاولة طيبة». وبالتأكيد من المبكر للغاية غض الطرف عنه باعتباره شطحة علمية جامحة أخرى؛ إذ إنه إلى وقتنا هذا يعد أفضل أمل للوصول إلى نظرية نهائية موحدة. لكن ملاحظة مرئية واحدة تساوي ألف نظرية عبقرية، وبينما كان أصحاب نظرية الأوتار يطورون دون كلل نماذجهم المجردة، حقق علماء الفلك سلسلة من الاكتشافات التي انفجرت كالقنبلة في أسس الفيزياء النظرية، مزلزلة أركان نظرية الأوتار، وعلم الكونيات أيضًا.

النقاط الأساسية

- تحاول نظريات التوحيد العظيمة الجمع بين القوى النووية الشديدة والقوى النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية في نموذج واحد. يتنبأ البعض بأن البروتونات ستتحلل على مدار فترة طويلة للغاية من الوقت.
- التناظر بين المادة والمادة المضادة لا يمكن أن يكون مثاليًّا، وإلا لكان الانفجار العظيم قد أنتج كمية مساوية من الاثنتين.
- يمكن توحيد الفرميونات والبوزونات في نموذج رياضي يسمى التناظر الفائق.
- يتحقق التوحيد الكامل للجسيمات والقوى، بما فيها قوة الجاذبية، عن طريق اعتبار أن جميع الجسيمات مكونة من أوتار دقيقة تتحرك في عشرة أبعاد زمكانية. الأبعاد الستة غير المرصودة مدمجة معًا في شكل معقد.
- تمثل نظرية الأوتار، وزميلتها الأكثر تطورًا النظرية M، أكبر أمل واعد لتوحيد الفيزياء الأساسية، إلا أنها تظل عسيرة على الفهم ومن الصعب اختبارها تجريبيًّا.

الفصل السادس

قوى الكون المظلمة

(١) المادة المظلمة

لقرون ظن علماء الفلك أنهم يدرسون «الكون» عن طريق توجيه معداتهم صوب المجرات والنجوم والكواكب والغازات والغبار. لذا كانت الصدمة عنيفة حين اكتشفوا أن الكون مؤلف من شيء آخر، وأنهم لا يملكون أدنى فكرة عن ماهية هذا الشيء!

جاء التلميح الأول لفكرة أن ما تراه ليس بالضرورة كل ما هو موجود منذ أكثر من سبعين عامًا من خلال العمل الدقيق لفريتز تسفيكي، عالم الفيزياء الفلكية الذي عمل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. كان تسفيكي يدرك أن الكون يتمدد بشكل منتظم، بيد أنه أدرك أيضًا أن هذا التوصيف سطحي بكل تأكيد؛ فالمجرات ليست أجسامًا معزولة؛ بل هي تتجمع معًا في عناقيد قد يبلغ عدد أعضائها العشرات. وداخل تلك العناقيد تهيم المجرات في الأرجاء، وبهذا توجد حركة أخرى موضعية معقدة تضاف إلى حركة الكون المتمدد. على سبيل المثال، تتحرك مجرة درب التبانة، التي نحن جزء منها، ومجرة أندروميدا إحداهما صوب الأخرى بسرعة تقارب ١٣٠ كيلومترًا في الثانية، وفي الوقت ذاته تشاركان في حركة التمدد الكوني الكلية التي اكتشفها هابل. اهتم تسفيكي بدراسة هذه الحركات الموضعية داخل العناقيد المجرية، التي استطاع تبينها عن طريق القياس الحريص للإزاحة الحمراء للضوء القادم من كل مجرة بمفردها.

لكن ما وجده كان غريبًا بحق؛ فأغلب المجرات بدت كأنها تتحرك بسرعة غير متوقعة. في البداية افترض تسفيكي أن العناقيد المجرية متماسكة بعضها مع بعض بفعل جاذبية المادة المنظورة التي تحويها. فإذا تحركت المجرة بسرعة كبيرة فستهرب من قوة الجذب التي يمارسها جيرانها وتتجول مبتعدة عن المجموعة. يمكن لعنقود المجرات البقاء متماسكًا لمليارات السنين، لكن فقط لو كان به ما

يكفي من المادة لحبس كل مجرة منفردة بداخله. وجد تسفيكي من واقع حساباته أن الجاذبية المجتمعة لكل المادة المنظورة — النجوم والغازات والغبار — لم تكن كافية ولو من بعيد لإبقاء هذه المجرات المتحركة بخفة في عناقيد. لم يكن هناك سوى تفسير واحد: إن من المؤكد وجود عامل آخر يسهم في زيادة قوة الجذب. بإكمال الحسابات أدرك تسفيكي أن الفارق كان مهولًا؛ إذ فاقت المادة الخفية المسببة للجاذبية المادة المنظورة بمئات الأضعاف، بحيث تعد هي الكتلة المهيمنة على العناقيد المجرية. صارت هذه المادة الخفية المجهولة تعرف باسم «المادة المظلمة». ومع أن نتائج تسفيكي ظلت محل تجاهل لوقت طويل، فإنه على مدار العقود القليلة الماضية جمّع علماء الفلك أدلة عديدة لا تدحض على أن الأجزاء المنظورة من المجرات ليست أكثر من قمة لجبل جليد غامض، وأن أغلب المادة الموجودة في الكون هي في حقيقتها مظلمة.

يتأكد وجود المادة المظلمة أيضًا من الطريقة التي تدور بها النجوم دخل مجرة درب التبانة، فالشمس، مثلًا، تسير لحوالي ٢٥٠ سنة ضوئية كي تكمل دورة واحدة حول المجرة. تأتي الأدلة الدامغة على وجود المادة المظلمة من دراسة كيفية تحرك النجوم في أطراف المجرة. ومجددًا، يتضح أنها تتحرك بسرعة كبيرة بحيث يصعب عليها الارتباط بجاذبية درب التبانة ما لم تكن هناك وفرة من المادة المظلمة تجذبها، فإذا كانت النجوم هي كل ما يوجد في المجرة فستتفكك مجرة درب التبانة وتتناثر نجومها في الأرجاء. حدد علماء الفلك توزيع الكتلة في مجرتنا وغيرها من المجرات من واقع طريقة تحرك النجوم، وتوصلوا إلى أن الشكل الدائري المألوف للمجرة — ذي النواة المركزية التي تغلفها أذرع كالدوامات — يستقر وسط توزيع كروي تقريبًا من المادة المظلمة الممتدة خارج إطار المناطق المضيئة، مشكلة سحابة شاسعة، أو هالة، تواصل التمدد في الفضاء الموجود بين المجرات.

تأكدت هذه الدراسات من واقع مشاهدات أقمار الأشعة السينية والمسبار WMAP. وجميع الأبحاث تشير إلى نفس النتيجة: أن الكون يحوي من المادة المظلمة أكثر بكثير مما يحويه من المادة المنظورة. من الطبيعي أن يتحمس العلماء لمعرفة ماهية هذه المادة، وهم يملكون بالفعل العديد من التصورات. يقسم علماء الفلك المادة المظلمة إلى قسمين: أجرام الهالة الهائلة المضغوطة Massive Compact Halo Objects (MACHOs) والجسيمات الضخمة ضعيفة التفاعل Weakly interacting massive particles (WIMPs).

(٢) أجرام الهالة الهائلة المضغوطة

ويقصد بها تركيزات الكتلة الكامنة في الهالة المجرية. سرعان ما يتبادر لأذهاننا بعض الأجرام المنتمية لهذه الفئة، فالثقوب السوداء مظلمة وتمر دون ملاحظة إلا إذا وُجِدت بالقرب من النجوم أو الغازات وتسببت في ابتلاعها. قد تكون النجوم القزمة أو الكواكب العملاقة مظلمة بدرجة كبيرة تمنع ظهورها في تلسكوباتنا، ومع ذلك فهي توجد بوفرة. أيضًا هناك أجرام أصغر حجمًا، على غرار الكويكبات والمذنبات، وهي وفيرة العدد دون شك، لكن يتعذر ملاحظتها بشكل كبير خارج نظامنا الشمسي.

من العسير للغاية تحديد موقع أحد هذه الأجرام في أعماق الفضاء، وذلك لأسباب واضحة. فلم يتمخض عن البحث المباشر بالتلسكوبات عن النجوم الصغيرة الخافتة الحمراء العثور على عدد وفير منها. من وسائل البحث الأخرى التي جُربت التحدب الناتج عن قوى الجاذبية (انظر الجزء الذي ناقشت فيه الفضاء المنحني في الفصل الثاني). فإذا تموضع أحد هذه الأجرام بشكل ما في طريق الضوء الصادر عن أحد النجوم فسيفضح عن وجوده بتضخيم ضوء هذا النجم. وبهذا سيظهر الجرم المتجول على صورة ارتفاع وانخفاض مميز في شدة ضوء أحد النجوم البعيدة. عُثر على عدد قليل من هذه الأجرام بهذه الصورة، لكن علماء الفلك مقتنعون الآن أن عددها ليس من الكثرة بحيث تُعزى إليه كل المادة المظلمة.

يستطيع علماء الكونيات تقصي المادة المظلمة من خلال خط تفكير مختلف بشكل كلي. كما وصفت في الفصل الثالث، فإنه أثناء الدقائق القليلة الأولى التي أعقبت الانفجار العظيم، حولت تفاعلات نووية الهيدروجين إلى هليوم. حدث هذا حين اتحدت البروتونات والنيوترونات الموجودة في البلازما البدائية كي تكوّن، أولًا، الدويتريوم (المكون من بروتون وحيد متحد بنيوترون وحيد)، وبعد ذلك، باندماج المزيد من أنوية الدويتريوم، الهليوم. إلا أن كميات طفيفة من الدويتريوم لم يُقدَّر لها أن تصير ذرات هليوم، وظلت كما هي. يعتمد مقدار وفرة الدويتيريوم البدائي بالأساس على كثافة الكون وقت حدوث هذه التفاعلات. يتمتع الدويتيريوم بنواة ذات ترابط ضعيف نسبيًّا، تُدمَّر بسهولة عن طريق تصادمات البروتونات. الكون عالي الكثافة سيؤدي إلى تصادمات أكثر تواترًا بين الأنوية، وهو ما يؤدي لتقليل مقدار الدويتيريوم في الخليط النهائي. وعلى العكس يؤدي الكون منخفض الكثافة

إلى تراكم كميات أوفر من الدويتيريوم غير المستخدم. وبهذا يمكن لقياس مقدار توافر الدويتيريوم وغيره من العناصر الخفيفة[1] المساعدة في تحديد كثافة المادة النووية في الكون المبكر، ومن ثم، عن طريق موازنة النسب، تحديد كثافة المادة العادية اليوم.

وفق أفضل التقديرات لمخزون الدويتريوم كان الكون المبكر ذا كثافة قليلة نسبيًّا من المادة النووية. بل في الحقيقة فقط نسبة مئوية بسيطة من المادة المظلمة يمكن أن تكون على صورة ذرات عادية أو مكوناتها. هذا يستبعد أجرام الهالة من تفسير المادة المظلمة إذا كانت مؤلفة من مكونات طبيعية؛ أي إلكترونات وبروتونات ونيوترونات. من المعقول أن تتكون بعض أجرام الهالة من أنواع غير معروفة من المادة — مادة غير نووية — لا تشارك في إنتاج الدويتيريوم والهليوم. لكن لو دخلنا أرض الجسيمات الافتراضية فسنجد المنظِّرين ينتظروننا بقوائم ممتدة منها، وأغلب هذه الجسيمات لن يكون من أجرام الهالة، بل سيكون من الجسيمات الضخمة ضعيفة التفاعل.

(٣) الجسيمات الضخمة ضعيفة التفاعل

قابلنا بالفعل أحد الجسيمات الضخمة ضعيفة التفاعل والمرشح المحتمل كمكون للمادة المظلمة؛ النيوترينو. ليست النيوترينوات مظلمة بمعنى «سوداء»، بقدر ما هي «غير مرئية»؛ نظرًا لأن أغلبها ينفد من المادة العادية دون أن يفضح وجوده. والنيوترينوات توجد بوفرة في الكون، بحيث تفوق الجسيمات النووية عددًا بمراحل. ومع ذلك فهي لا تزن الكثير؛ إذ قد يصل وزن أحدها إلى واحد على المليون من وزن الإلكترون. وبهذا، حتى مع نسبة أفضلية عددية تبلغ المليار إلى واحد، لا تستطيع النيوترينوات وحدها أن تفوق النجوم وزنًا. من هنا جاءت أهمية كلمة «الضخمة»؛ إذ نحتاج شيئًا مثل النيوترينو في الوفرة، لكن مع كتلة تساوي كتلة البروتون أو أكبر.[2] بهذه الصورة يمكن لهذه الجسيمات أن تهيمن على تأثيرات الجاذبية للمادة العادية دون أن نلحظها. ومثل النيوترينوات يمكن لهذه الجسيمات أن تمر من أجسادنا بأعداد هائلة طوال الوقت دون أن نعي ذلك.

هناك كثير من الجسيمات «الافتراضية» التي تناسب هذا الوصف، على سبيل المثال الجسيمات فائقة التناظر مثل نظير الفوتون. بل الحقيقة هي أن عدد

المرشحين كبير لدرجة تجعل المجربين عاجزين عن معرفة ما يبحثون عنه تحديدًا. المشكلة الأساسية في عملية البحث عن هذه الجسيمات هي أنها، بطبيعتها، لا تتفاعل إلا بصورة ضعيفة للغاية مع المادة. إلا أن الحسابات توحي بأنه نادرًا ما يتوقف أحد الجسيمات ضعيفة التفاعل بواسطة نواة ذرة ما ويطلق بعض الطاقة. التحدي هنا يكمن في تبين هذا الارتفاع الطفيف في الطاقة وفصل هذه الإشارة من ضوضاء الخلفية. من الطرق التي جُربت استخدام بلورة كبيرة من الجيرمانيوم النقي كأداة استكشاف وللبحث عن تأثيرات ارتداد النواة، إما من واقع الاضطرابات الكهربية أو الصوتية (في الحالة الثانية يستمع العلماء لصوت الارتطام). تؤخذ البلورة إلى أعماق كبيرة تحت الأرض لعزلها عن الأشعة الكونية الأكثر قوة وتفاعلًا التي تغمر الإشارة الصادرة عن أحد الجسيمات ضعيفة التفاعل. يؤمن العلماء الذين رسموا توزيعًا للمادة المظلمة بأنها تميل للتجمع بالقرب من مراكز المجرات. وهم يتصورون وجود سحابة كثيفة غير مرئية من الجسيمات ضعيفة التفاعل تسبح فيها الأرض والشمس في رحلتهما الطويلة حول مجرة درب التبانة. وإذا كان الحال كذلك فلن تغمر هذه الجسيمات كوكب الأرض من جميع الاتجاهات بشكل متساو، بل ينبغي أن تتدفق ناحيتنا من جهة كوكبة العذراء، التي يتجه صوبها نظامنا الشمسي في الوقت الحالي بسرعة تقارب الثلاثمائة كيلومتر في الثانية.

تلعب المادة المظلمة دورًا أساسيًّا في تحديد شكل الكون عن طريق توفير القدر الأعظم من قوى الجاذبية المطلوبة لنمو المجرات. كان الكون في عمر ٣٨٠ ألف عام، كما كشف لنا المسبار WMAP، متجانسًا للغاية، وقد ظهرت البنية الكلية الحالية للكون بسبب المناطق الأعلى كثافة بقدر طفيف التي تمكنت من جذب المادة إليها ومن ثم تعظيم كثافتها أكثر. لو كان الأمر معتمدًا على المادة العادية وحدها لكانت هذه العملية ضعيفة للغاية لدرجة يتعذر معها تكوين المجرات والنجوم والكواكب وغيرها، التي دونها ستكون الحياة مستحيلة. لكن المادة المظلمة ساعدت كثيرًا في عملية التجميع هذه. لمعرفة كيف حدث هذا قارن علماء الكونيات البنية الكلية المرصودة للنماذج بنتائج عمليات المحاكاة الحاسوبية المعقدة التي تصور مجموعة من عناصر المادة المظلمة.[3]

مع أن علماء الكونيات لا يملكون الكثير من الأدلة بشأن طبيعة المادة المظلمة، فإنهم يستطيعون على الأقل تحديد نسبتها الإجمالية تحديدًا دقيقًا. إن

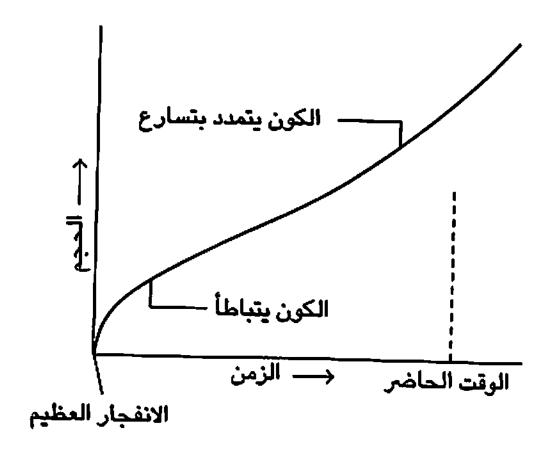
مشاهدات المسبار WMAP، المصحوبة بنتائج عمليات المسح التلسكوبية وغيرها من البيانات، تشير إلى أن المادة العادية (البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والذرات والجزيئات) تشكل حوالي ٤ بالمائة من إجمالي المحتوى الكلي للمادة في الكون (ومن هذه النسبة يأتي النصف وحسب على صورة نجوم وكواكب). وبهذا يتألف ٩٦ بالمائة من الكون من مادة مظلمة غامضة. هذا في حد ذاته أمر يثير الحيرة، لكن هناك المزيد، فمن نسبة الـ ٩٦ بالمائة هذه لا تمثل المادة المظلمة التي تحدثت عنها إلى الآن أكثر من الثلث فقط. أما ما يؤلف الباقي، أي على الأقل ثلثي مادة الكون، فهو شيء آخر أكثر إرباكًا بكثير.

(٤) الطاقة المظلمة

في أواسط التسعينيات أذهلت مجموعتان من العلماء المحافل العلمية بإعلانهما أن معدل تمدد الكون يتزايد، وهو ما أكدته مشاهدات النجوم المستعرة (السوبرنوفا) في المجرات البعيدة. يعني هذا أن الكون الآن يتمدد بمعدل أكبر من ذي قبل ويبدو في طريقه للتفكك بعيدًا بعضه عن بعض إذا استمر هذا التزايد. زلزل هذا الاكتشاف أسس النظرية الكونية، المبنية على الإيمان الراسخ بأن قوى الجاذبية تعمل عمل المكابح، بحيث تهدئ من قوة التمدد الهائلة التي بدأت مع الانفجار العظيم كي تصل إلى المعدل المعقول الذي نرصده اليوم. الآن تغير اسم اللعبة؛ فهناك قوى غامضة مضادة تعارض قوى الجاذبية، وقد نجحت في تحويل التمدد المتناقص إلى تمدد متزايد.

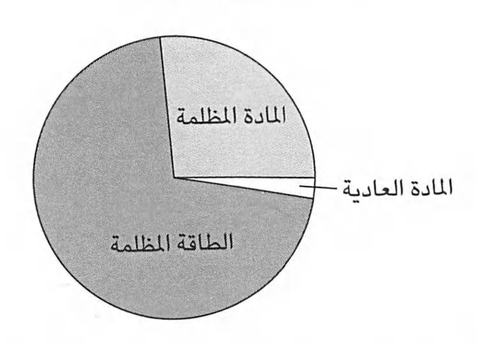
رأينا في الفصل الثالث كيف أن التضخم — ذلك التسارع الهائل في معدل التمدد في المرحلة المبكرة للغاية من عمر الكون — حدث بسبب دفعة من الجاذبية المضادة التي سببها الضغط السالب لـ «مجال تضخم» افتراضي. الآن يبدو أن الكون (على الأقل الجزء المرصود منه) بدأ في التضخم مجددًا، لكن بسرعة أبطأ بكثير، بمعدل عشرة أس نيف وخمسين مرة أبطأ مما كان الحال عليه في الكون المبكر للغاية. ما الذي يحدث هنا؟

في عام ١٩١٧ اقترح أينشتاين وجود قوة طرد كونية، أي قوة جاذبية مضادة، في محاولة منه لتوصيف الكون الساكن (انظر الإطار ٣). بيد أنه هجر هذه الفكرة حين وجد أن الكون يتمدد. حسن، ربما كان أينشتاين محقًّا. بكل



شكل ٦-١: **الكون الجامح.** يرى علماء الفلك أن معدل تمدد الكون يتزايد، وذلك بفعل تأثير قوة الجاذبية المضادة. يوضح هذا الشكل أفضل تخمين للنحو الذي تطور عليه الكون، بداية بالانفجار العظيم، المتبوع بمليارات قليلة من الأعوام من التمدد المتناقص، على نحو شبيه بالمبين في الشكل ٣-١. لكن بعد ذلك يزداد معدل التمدد مع وقوع الكون تحت سيطرة طاقة مظلمة غامضة.

تأكيد ليس الكون ساكنًا، لكن يبدو أن الجاذبية المضادة موجودة فيه على أية حال. وإذا كان التوصيف الصحيح هو ما تقدمه نظرية أينشتاين المقدمة في عام ١٩١٧، فلن يبدو تمدد الكون على ذلك الشكل المتعارف عليه والمبين في الشكل رقم ٣-١، بل سيشبه النحو المبين في الشكل ٦-١. في ذلك الشكل سينشأ الكون بانفجار عظيم، ولن يكون للجاذبية المضادة في هذه المرحلة المبكرة تأثير كبير لأن الكون مضغوط بشكل كبير، إضافة إلى أن قوى الطرد التي يقترحها أينشتاين ضعيفة في المسافات الصغيرة. لكن مع استمرار الكون في التمدد تزداد الجاذبية المضادة قوة، إلى أن تصل إلى نقطة، على نطاق الكون ككل، تضاهي فيها قوة الجذب العادية. وقتها ينشأ صراع هائل تكون فيه هاتان القوتان متساويتين، وهنا يستمر الكون في التمدد بمعدل ثابت، إلا أنه من المحتم في نهاية المطاف أن تفوز قوى الجاذبية المضادة؛ نظرًا لازديادها في القوة مع زيادة تمدد الكون. وفور أن تكون للجاذبية المضادة اليد العليا يبدأ معدل التمدد في الزيادة، بحيث يصير أسرع وأسرع مع الوقت، إلى أن يقترب في النهاية من معدل التمدد «الأسّي»، الذي بموجبه يتضاعف حجم أي منطقة في الكون كل بضعة مليارات من الأعوام.

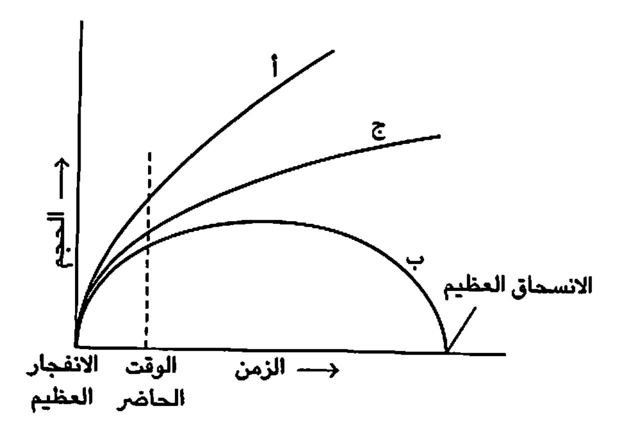


شكل ٦-٢: **منتَج كوني ثانوي.** من المثير للدهشة أن المادة المألوفة، كالذرات، تمثل حوالي ٤ بالمائة فقط من إجمالي كتلة الكون، وكأنها ليست إلا منتَجًا ثانويًّا. ٢٢ بالمائة من كتلة الكون يأتي على صورة نوع آخر من المادة، غير محدد بعد، و٧٤ بالمائة من كتلة الكون يأتي على صورة طاقة مظلمة تتغلغل في أرجاء الفضاء.

من المبكر للغاية التصريح بأن القوة التي تسبب تسارع تمدد الكون هي نفس قوة الجاذبية المضادة التي وصفها أينشتاين، رغم كون هذا أبسط التفسيرات. ثمة اقتراحات أخرى قُدمت في هذا الصدد، منها على سبيل المثال المجالات التي تتباين فيها شدة القوى مع الوقت. وكما أوضحت (في الفصل الثالث) فإن الجاذبية المضادة يمكن اعتبارها نتاجًا لطاقة الفضاء الخاوي نفسه، ومصاحبة للضغط السالب. وبالمثل، يمكن عزو الطاقة والضغط السالب إلى مجال غير مرئي يتغلغل في الفضاء. في كل الحالات لن نستطيع رؤية أي شيء من هذه الطاقة؛ لذا يستخدم المصطلح العام «الطاقة المظلمة» للإشارة إلى كل هذه الاحتمالات. يخطط علماء الفلك قياسات أفضل لمعرفة المزيد عن هذه الطاقة. لكن مهما تكن ماهيتها، فإذا قمنا بحساب قدر الطاقة المظلمة المسئولة عن زيادة معدل تمدد الكون فستجد أن لها كتلة كلية أكبر من جميع أشكال المادة — المرئية والمظلمة — مجتمعة (انظر الشكل ٦-٢). يبدو أن الطاقة المظلمة تؤلف القدر الأعظم من كتلة الكون، ومع ذلك لا يعرف أحد ماهيتها بالضبط.

(٥) نهاية الكون

لطبيعة الطاقة المظلمة تبعات مهمة للغاية؛ خاصة وأن مصير الكون بأكمله يعتمد عليها. من القضايا التي واجهت علماء الكونيات لفترة طويلة قضية هل سيستمر



شكل ٦-٣: مصير الكون. حدد ألكسندر فريدمان ثلاثة نماذج محتملة للكون: قد يتمدد الكون إلى الأبد بمعدل ثابت (أ)، وقد ينهار في انسحاق عظيم (ب)، أو قد يتأرجح بين الاثنين (ج). في الحالة أ يكون الفضاء منحنيًا بالسلب (انظر الشكل ٢-٨)، وفي الحالة ب يكون منحنيًا بالإيجاب (انظر الشكل ٢-٦)، وفي الحالة ج يكون مسطحًا.

الكون في التمدد إلى الأبد، أم سيقل معدل تمدده إلى نقطة يبدأ عندها في الانكماش مجددًا؟ تسمح نظرية النسبية لأينشتاين بكلا الاحتمالين، اعتمادًا على قدر المادة الذي يحويه الكون. بالتغاضي عن الطاقة المظلمة للحظة، من المعروف منذ عمل ألكسندر فريدمان في أوائل العشرينيات أن هناك ثلاثة سيناريوهات محتملة؛ أولًا هناك الكون منخفض الكثافة، الذي تكفي فيه قوة الانفجار العظيم لجعل المادة الكونية تتغلب على قوى الجذب الخاصة بها وبهذا يستمر الكون في التمدد. يبطؤ معدل التمدد نتيجة التأثير الكابح للجاذبية، لكن هذا التأثير يضعف مع الوقت إلى أن يصل الكون في النهاية لمعدل تمدد شبه ثابت. يعبر الخط المنحنى أ عن هذا السيناريو في الشكل ٦-٣.

الاحتمال الثاني، والموضح بالخط المنحني ب في الشكل ٦-٣، هو الكون عالي الكثافة. يحتوي هذا الكون على مادة أكثر، مما يؤدي لوجود قوة جذب أكبر، ومن ثم تأثير كابح أكبر. يتباطأ معدل التمدد مع مرور الوقت إلى أن يتوقف بشكل تام، وعند تلك النقطة يبدأ الكون في الانكماش والانهيار على نفسه. تتزايد سرعة الانكماش وصولًا إلى الانهيار التام، الذي يعرف باسم «الانسحاق العظيم». الاحتمال الثالث، الموضح بالخط ج، هو سيناريو وسيط بين الاحتمالين السابقين.

هنا يقل معدل التمدد مع الوقت، لكن دون الوصول لنقطة يتوقف فيها بشكل تام. تربط النسبية العامة الاحتمالات الثلاثة بهندسة الكون. ففي السيناريو ب، يحني مجال الجاذبية القوي للمادة الكثيفة الفضاء إلى كرة فائقة، وفي السيناريو أ ينحني الفضاء بالسلب ويكون مفتوحًا ولانهائيًّا. أما في السيناريو ج فيكون الفضاء مسطحًا ولانهائيًّا.

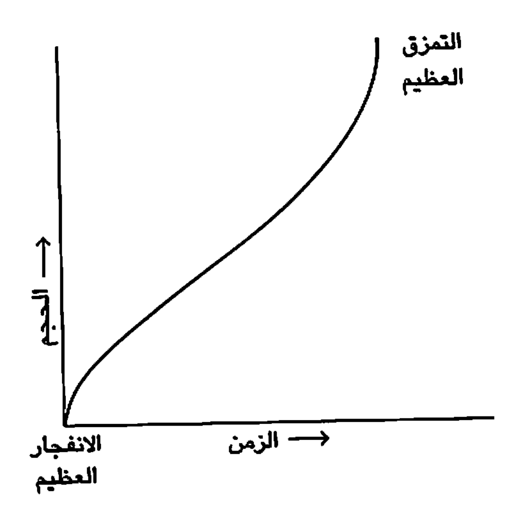
تصير الخيارات الثلاثة أ، ب، ج أكثر تعقيدًا مع وضع الطاقة المظلمة في الاعتبار. وكما أوضحت من قبل فإن سلوك الكون في المراحل المبكرة لم يتأثر إلا قليلًا بالجاذبية المضادة، إلا أن هذا التأثير يمكنه في نهاية المطاف أن يكون حاسمًا، فإذا وصلت كثافة كتلة/طاقة الكون الإجمالية (بما فيها الطاقة المظلمة) لنقطة حرجة معينة، سيكون الفضاء مسطحًا، ويسلك الكون المسلك المبين في الشكل ٦-١. هذا هو أفضل نموذج يناسب البيانات المتاحة. إلا أن المستقبل البعيد للكون سيبدو كئيبًا؛ إذ إن التمدد المتزايد سيحول الكون إلى ما يشبه الثقب الأسود المقلوب. في الفصل الثاني أوضحت كيف أن سرعة الضوء المحددة ستؤدي لوجود ما يسمى بأفق الفضاء، الذي نعجز عن رؤية ما يوجد خلفه، مهما بلغت تلسكوباتنا من قوة. يخلق التمدد المتزايد أفقًا من نوع آخر، يسمى «أفق الحدث»، يشبه سطح الثقب الأسود. تخيل أن دفقة من الضوء انطلقت من كوكب الأرض صوب مجرة بعيدة تزداد ابتعادًا عن الأرض. بينما يطارد الضوء المجرة، تزداد المجرة ابتعادًا. إذا كان معدل تمدد الكون ثابتًا فسيصل الضوء إلى المجرة في نهاية المطاف. لكن لو كان معدل التمدد يتزايد، قد لا يصل الضوء لهذه المجرة «قط»؛ إذ إنه مهما حاول الضوء أن يجتاز الفجوة، فالفجوة نفسها تزداد اتساعًا. وبالمثل، فإن الضوء المنبعث من المجرة البعيدة صوب الأرض في نفس الفترة الزمنية قد لا يصل إلينا قط، مهما انتظرنا. في هذه الحالة تظل منطقة الكون التي تقع فيها تلك المجرة المتباعدة (وكل المناطق الأبعد منها) غير مرئية من جانبنا، إلى الأبد. في الكون ذي التمدد المتزايد تتحرك المجرات بعيدًا بعضها عن بعض، أسرع وأسرع، وفي النهاية تختفي تمامًا وراء أفق الحدث الخاص بكل منها. سيتطلب الأمر مليارات السنوات كي تختفي أغلب المجرات التي نراها اليوم، لكن لو أن الكون يتصرف بالفعل على النحو المبين في الشكل ٦-١ فسيحدث هذا لا محالة. إلى أن يحدث هذا فإن المجرات القريبة (على سبيل المثال مجرة أندروميدا) المرتبطة بمجرة درب التبانة بفعل قوة الجاذبية ستندمج في مجرة فائقة مليئة بثقوب سوداء هائلة ونجوم محترقة. أما بقية الكون (البالغ حجمه مليارات

السنوات الضوئية) فسيكون خاويًا. وفي النهاية، حتى الثقوب السوداء العملاقة ستتبخر على صورة إشعاع حراري، سيختفي بدوره عبر الأفق، شأن كل شيء آخر.

(٦) التمزق العظيم

لا تقتصر سيناريوهات نهاية الكون على التمدد الأبدي أو الانهيار في انسحاق عظيم وحسب، بل ثمة طريقة ثالثة يمكن أن ينتهي عليها الكون. لقد افترضت إلى الآن أن الطاقة المظلمة ثابتة في الزمان والمكان، كما هو الحال في النظرية الأصلية لأينشتاين. لكن بما أن طبيعة الطاقة المظلمة لا تزال غامضة بالكامل، قد لا يكون هذا الافتراض صحيحًا. ولو أن الطاقة المظلمة هي نتاج لنوع جديد من مجالات المادة (التي يشار إليها أحيانًا بال «جوهرية»)، عندئذٍ من المرجح أن يتفاوت المجال في المكان والزمان، بل قد يتفاعل مع المادة، مؤديًا لخلق المزيد من الاحتمالات. على سبيل المثال، قد يكون هناك انتقال كمي مفاجئ إلى قيمة أقل للطاقة المظلمة، مما يؤدي لخلق فقاعة من الفراغ تتمدد بسرعة تقارب سرعة الضوء وتحيط بالكون القابل للرصد بأكمله. جعل ستيفين باكستر هذا السيناريو المرعب موضوع رواية الخيال العلمي التي ألفها بعنوان «الزمن».[4] وقد تتفاوت الطاقة المظلمة ببطء شديد، مما يؤدي إلى انخفاض شدتها تدريجيًا على مر مليارات الأعوام. وفي النهاية، قد تصير الطاقة سالبة (وفي هذه الحالة ستبدأ في التصرف مثل الجاذبية عوضًا عن الجاذبية المضادة). وإذا حدث هذا فسيتباطأ التمدد المتزايد ثم ينقلب ليصير انهيارًا متسارعًا، وسيعقب هذا حدوث الانسحاق العظيم.

إلا أن مصيرًا أكثر درامية ينتظر الكون لو أن الطاقة المظلمة «تزيد» في الحجم مع تمدد الكون. عندئذٍ سيزيد «معدل» التسارع مع الوقت، مؤديًا إلى تمدد أسّي فائق، وسينكمش أفق الحدث، مقللًا حجم الكون المرئي، أما الجاذبية، ذات التأثير الضئيل حاليًا على النظام الشمسي أو حتى على مستوى المجرة، فستبدأ في التعاظم على مستويات أصغر وأصغر في الحجم، وسرعان ما يأتي الوقت الذي تتمزق فيه مجرتنا إربًا. ومع ذلك ستزداد الجاذبية المضادة قوة، ممزقة مجموعات النجوم، وفي النهاية النجوم نفسها، متغلبة على قوة الجاذبية التي تربطها بعضها ببعض. وفي المراحل الأخيرة حتى كوكب الأرض سيتمزق إربًا. الفصل الأخير من هذه الدراما سيأتي حين يصير معدل التمدد لانهائيًا (انظر الشكل ٦-٤).



شكل ٦-٤: **التمزق العظيم**. طريقة أخرى ربما ينتهي بها الكون هي بالتمدد أسرع وأسرع إلى أن يصير التمدد لانهائيًّا، كما هو موضح بالشكل. لا يمتد المنحنى وراء نقطة معدل التمدد اللانهائي لأن هذه نقطة تفرد زمكانية.

مثل هذه الحالة تمثل نقطة تفرد زمكانية — أي نهاية للزمان والمكان — مثل الانسحاق العظيم، لكن بشكل معكوس، لأن ما يحدث هو تمدد كارثي وليس انهيارًا. اكتشفت أنا وجون بارو هذا المصير البغيض للكون في الثمانينيات، لكننا لم نأخذه بجدية لأنه كان مبنيًّا على نموذج رياضي مفتعل إلى حدٍّ ما.[5] ومع ذلك فمنذ سنوات قلائل أعيد اكتشاف نفس الفكرة على يد روبرت كالدويل من جامعة دارتماوث بنيوهامبشاير، وأعطيت ذلك الاسم الآسر «التمزق العظيم» The Big Rip.[6] لا يزال من غير المرجح أن ينتهي الكون بهذه الطريقة، لكن ربما لا تبدو النظرية خيالية مثلما بدت حين كنت أنا وبارو نتسلى بها.

(٧) هل ستستمر الحياة إلى الأبد؟

مهما يكن النموذج الذي ستثبت صحته فلا يزال أمامنا وقت طويل حتى فناء الكون، ولا يوجد فيما اكتشفه علماء الفلك والكونيات ما يجعلهم يعتقدون أن فناء الكون وفق أي من السيناريوهات السابقة قد يبدأ قبل مليارات الأعوام. مع ذلك، قبل أن يحدث ما يعكر صفو الكون على النطاق العريض، ستكون شمسنا قد

تجاوزت عمرها الافتراضي، ففي خلال ما يربو قليلًا على المليار عام ستبدأ حرارة الشمس في الازدياد، وستواجه الأرض أزمة في صلاحيتها للسكنى. ومع ذلك، إذا ألقينا نظرة غير محدودة على مستقبل الحياة، يوجد وقت وفير أمام أحفادنا، أو أي مخلوقات صناعية من ابتكارنا، أو حتى أمام كائنات الأنظمة النجمية الأخرى التي تواجه مصيرًا مشابهًا، للانتقال إلى نظم نجمية جديدة ومواصلة عمل ذلك إلى أن تنفد المادة الخام لتكون النجوم. وحتى حين تحترق كافة النجوم سيتوافر مخزون أعظم من الطاقة في حقول الجاذبية، خاصة تلك الخاصة بالثقوب السوداء، بحيث يمكن لشكل ما من أشكال الحياة أن يستمر.

لكن هل يمكن للحياة أن تستمر حرفيًّا «إلى الأبد» (على فرض أن الكون لن ينهار في انسحاق عظيم أو يتفسخ بفعل تمزق هائل)؟ هل سيتمكن أحفادنا بشكل ما من البقاء على قيد الحياة أبد الدهر؟ في أعقاب الورقة البحثية الثورية التي قدمها فريمان دايسون في السبعينيات،[7] صارت النظرة السائدة هي أن الحياة ستتمكن دومًا من الاحتفاظ بموطئ قدم في مكان ما من الكون دائم التمدد. لكن حديثًا أعيد التفكير في هذه النتيجة في ضوء اكتشاف الطاقة المظلمة. فإذا كان الكون، كما يقترح الاكتشاف، سينتهي به المطاف كفضاء خاو داخل أفق الحدث، وقتها يبدو من غير المرجح لأي شكل من أشكال الحياة، أو حتى أي عملية معالجة معلومات منهجية، أن يستمر؛ لأن الحالة النهائية ستكون حالة من التوازن الديناميكي الحراري، المشابهة لفكرة الموت الحراري للكون التي نوقشت في القرن التاسع عشر (انظر الإطار ٥). لذا على أية حال، يبدو أنه لن يكون بمقدور الحياة أن تستمر للأبد داخل هذا الكون.[8]

في هذا الفصل ناقشت نظريات عديدة بشأن ماهية الطاقة المظلمة، لكني لم أقل شيئًا عما يحدد مقدارها الإجمالي. لقد اختار أينشتاين ببساطة قيمة مأخوذة من المشاهدات الفلكية تمكن معادلاته من وصف الكون الساكن، ولا تقدم النسبية العامة أي دليل عما يمكن أن يكون عليه هذا الرقم. ولهذا، على مدار عقود، ظلت قوة الجاذبية المضادة مجرد معامل اعتباطي يفضل أغلب علماء الكونيات أن يحددوه بالرقم صفر. لكن لو أن الطاقة المظلمة صادرة عن عملية فيزيائية، كطاقة الفراغ الكمي أو الطاقة الجوهرية، عندئذٍ يمكن للمنظرين حساب مقدار الطاقة المظلمة الموجود في حجم معين من الفضاء. وكما سنرى في الفصل التالي،

حين يحدث هذا تكون النتيجة محيرة حتى إنها تشير لأزمة حقيقية تمس قلب الفيزياء النظرية وتستلزم حلًّا حاسمًا لتلك المعضلة.

النقاط الأساسية

- الجزء الأعظم من الكون مكون من شيء لم تتحدد ماهيته بعد. المادة العادية لا تؤلف سوى نسبة ضئيلة من الكون.
- المادة المظلمة مكونة على الأرجح من جسيمات ثقيلة ضعيفة التفاعل تسبب الانفجار العظيم في وجودها بوفرة.
- يبدو كما لو أن القدر الأعظم من كتلة الكون على صورة «طاقة مظلمة» — ويا لها من صدمة كبيرة! الطاقة المظلمة (التي لا يجب الخلط بينها وبين المادة المظلمة) ذات قوة طاردة مضادة، وهذا يتسبب في جعل الكون يتمدد أسرع وأسرع. لا يعرف أحد ماهيتها. قد لا تكون إلا طاقة الفضاء الخاوي (اقترح أينشتاين هذا في ١٩١٧)، أو قد تكون مجالًا جديدًا غامضًا.
- إذا ظلت الطاقة المظلمة ثابتة فسيصير الكون في النهاية مظلمًا وخاويًا، ويتمدد بمعدل أسّي. أما لو قلت وفي النهاية صارت سالبة، فسينهار الكون على نفسه في انسحاق عظيم. أما لو زادت فسينتهي الحال بالكون في تمزق عظيم.
- سيكون من الصعب على الحياة أن تستمر إلى الأبد.

الفصل السابع

كون ملائم للحياة

(١) دور المراقبين

من العلامات البارزة في تاريخ العلم — أو بالأحرى نقطة مولد العلم ذاته — نشر كتاب نيكولاس كوبرنيكوس بعنوان «حول ثورات الأجرام السماوية»، بعد وفاته في عام ١٥٤٣. في هذا الكتاب أوضح العالم البولندي نموذجه للنظام الشمسي، مع وجود الشمس في المركز، بينما الأرض وغيرها من الكواكب تدور حولها: «أخيرًا يمكننا وضع الشمس نفسها في مركز الكون. إن هذا هو ما يستدعيه السير المنهجي للأحداث والتناغم الكلي للكون، فقط لو أننا نواجه الحقائق، كما يقولون، بـ «أعين مفتوحة».»[1]

زلزلت النظرة الجديدة للكون التي دعا إليها كوبرنيكوس، والتي تقضي بأن الأرض هي التي تدور حول الشمس، العالم الغربي لدرجة أدت إلى بدء استخدام مصطلح «الثورة» في سياق سياسي واجتماعي أشمل أيضًا. في القرن السادس عشر كانت أوروبا أسيرة للكنيسة الرومانية، التي كانت تتبنى وجهة النظر الأفلاطونية القديمة القائلة إن الأرض هي مركز الكون، وما يستتبعه ذلك من نتيجة بديهية مفادها أن الإنسان يمثل ذروة الخلق. بالحط من مرتبة كوكبنا من المركز المحوري للكون أرسى كوبرنيكوس مبدأ عدم التميز، الذي استمر بعده لأربعة قرون. وحين وجه جاليليو تلسكوبه المخترع حديثًا صوب السماء عام ١٦٠٩ رأى أن مجرة درب التبانة تتكون من تجمع هائل من النجوم الخافتة. وتدريجيًّا بدأ علماء الفلك يدركون أن الشمس ليست إلا نجمًا عاديًّا مثل كثير غيره. واليوم نحن نعرف أن مجرة درب التبانة تحوي ما يزيد عن المائة مليار نجم، أغلبها مشابه لشمسنا. في القرن العشرين تمكنت التلسكوبات القوية من رؤية النجوم في مجرة أندروميدا وما خلفها، كاشفة عن أن حتى مجرة درب التبانة لا تشغل مكانًا مميزًا في الكون.

لقد أرست عمليات المسح المنهجية للمجرات المبدأ الكوني، والقائم بالأساس على أن الكون، على نطاقه الواسع، متطابق وغير متمايز.

ولا يمكن لأي محاولة لتفسير الكون أن تكلل بالنجاح ما لم تأخذ في الاعتبار «مبدأ عدم التميز» هذا. وكما رأينا، فإن سيناريو الكون المتضخم يقدم تفسيرًا طبيعيًّا للتطابق الكوني واسع النطاق. أيضًا تفسر النظرية المعنية بتكون المجرات من مواطن الشذوذ البدائية وجود النظم النجمية، مثل درب التبانة، في كل مكان، وبشكل مشابه تفسر النظرية القائلة بتكون النجوم والكواكب من سحب الغازات كيف أن نظامنا الشمسي ليس إلا نظامًا عاديًّا شائع الوجود. بيد أن التطابق وعدم التميز ليسا بأي حال من الأحوال هما السمتين الكونيتين الوحيدتين اللتين تحتاجان لتفسير؛ إذ إن هناك جانبًا عادة ما يتم التغاضي عنه في قائمة السمات المرصودة، وهو حقيقة وجود مراقبين يرصدون هذه السمات الكونية.

يتسم دور «المراقب» في العلم بالغرابة، وقد يسبب حيرة شديدة لعدد غير قليل من العلماء. فعلى أي حال، إن مهمة العلم إحلال النظرة الموضوعية للطبيعة محل النظرة الذاتية. وأي زعم علمي لا يؤخذ على محمل الجد إلا إذا اختُبر على يد أطراف بصورة محايدة (وبقدر من الاهتمام!) وإذا زعمت أن الأرض تدور حول الشمس لأنها مربوطة بمركبة فضائية عملاقة لا يمكن لأحد سواي رؤيتها، فلن يصدقني أحد، وسيكونون محقين في ذلك. إن نظرية النسبية لأينشتاين تؤكد على الموضوعية بشكل تام. بل إن كلمة «نسبية» نفسها تعني أن النظرة إلى العالم هي دومًا نظرة مراقب بعينه، وتقدم النظرية القواعد التحويلية اللازمة للتوفيق بين مشاهدات أحد المراقبين وتلك الخاصة بآخر. وبهذه الصورة يمكن استخلاص «الجوهر الموضوعي» للطبيعة من خبرات أفراد المراقبين. وقد أكد أينشتاين في نظريته على أن قوانين الفيزياء لا بد أن تظل «واحدة» لجميع المراقبين، مهما تكن حركتهم أو موضعهم. فلا يوجد تفضيل لمراقب بعينه. ولهذا السبب لا تشير قوانين الفيزياء لسرعة أي جسم في الفضاء مثلًا؛ لأنها لو فعلت فسيعني هذا تفضيل طبقة معينة من المراقبين — الساكنين — الذين رأوا العالم بشكل مختلف.

في ظل هذه الخلفية التاريخية ليس من المستغرب ألا يكون تفسير وجود المراقبين من المتطلبات الأساسية بين علماء الكونيات من أجل صياغة نظرية ناجحة عن الكون. لكن المزيد والمزيد منهم مقتنعون الآن بأن في هذا الأمر تجاوزًا خطيرًا. لنأخذ على سبيل المثال موقعنا في الكون، إلى أي مدى يعد موقعنا عاديًّا غير

متميز؟ حسن، من الواضح أنه موقع فريد ومتميز إلى حد بعيد. إن أغلب الكون ما هو إلا فضاء خاوٍ، لكن بني البشر يعيشون على سطح أحد الكواكب. وهناك سبب وجيه وراء ذلك؛ فالحياة من غير المرجح أن تنشأ في الفضاء الخارجي، وحتى لو حدث هذا فلن تحقق المخلوقات ذات الأمخاخ الكبيرة نجاحًا كبيرًا هناك. إن المراقبين البشريين يجدون أنفسهم يعيشون على أحد الكواكب لأنه لم يكن بمقدورهم التطور في أي مكان آخر.

ليس هذا المثال التافه إلا إشارة لأمر آخر أكثر أهمية؛ فالمراقبون — على الأقل من واقع خبرتنا إلى الآن — هم كائنات حية، والحياة ظاهرة معقدة دقيقة تحتاج العديد من المتطلبات الخاصة. وهي ستظهر في الكون فقط لو توافرت الظروف المناسبة. وإذا لم تكن هذه الظروف عامة شائعة فهذا يعني أن نظرتنا للكون لن تكون عامة، بل ستعكس موقفنا في ذلك الموقع الكوني الخاص المشجع على الحياة.

لا يمكن لمثل هذا الاسترسال البسيط أن يثير دهشة أحد. فهو يقول وحسب إن المراقبين سيجدون أنفسهم فقط في المكان الذي يمكن للحياة التواجد فيه. لا يمكن أن يسير الأمر خلاف ذلك. ومع ذلك، ورغم طبيعة هذه العبارة التي لا يمكن التنازع بشأن صحتها، فلا ينبغي نبذ الفكرة باعتبارها لعبًا بالكلمات فقط. فبداية، قد تكون الظروف المشجعة على الحياة محدودة للغاية. بكل تأكيد قد لا تكون الأرض إلا كوكبًا عاديًّا يدور حول نجم عادي في مجرة عادية من وجهتي النظر الجيولوجية والفلكية، لكنها قد تكون متميزة بدرجة كبيرة — تصل إلى حد التفرد — من وجهة النظر البيولوجية. فإذا كان هناك مكان واحد في الكون يصلح لاستضافة الحياة فسيكون كوكب الأرض هو ذلك المكان؛ لأن هذا هو المكان الذي نجد أنفسنا فيه. هذه النقطة، رغم بديهيتها، تتعارض تعارضًا واضحًا مع مبدأ عدم التميز، وصارت معروفة باسم المبدأ الإنساني Anthropic Principle.[2] لم يكن هذا المصطلح بالاختيار الموفق لأن كلمة anthropic مشتقة من نفس جذر الكلمة اليونانية بمعنى الإنسان، في حين هذا المبدأ لا يمس من قريب أو من بعيد البشر بحد ذاتهم (رغم كون البشر دون شك من أمثلة الحياة). وقد علق عالم الفيزياء الفلكية براندون كارتر، أول من استخدم هذا المصطلح في هذا السياق،[3] ذات مرة بقوله إنه لو كان يدرك المتاعب التي سيتسبب بها هذا المصطلح، لاقترح مصطلحًا غيره، «الألفة البيولوجية» مثلًا. لكن يبدو أنه ليس هناك مفر من الالتزام بمصطلح «المبدأ الإنساني»، لذا سأواصل استخدامه.

(٢) هل نحن وحدنا في الكون؟

ما الذي يمكن قوله بشأن إمكانية وجود حياة خارج كوكب الأرض؟ فرغم النمو الهائل في موضوع البيولوجيا الفلكية لا يوجد إلى الآن أي دليل مباشر على وجود حياة خارج كوكب الأرض. وحتى في حالة اكتشاف وجود حياة في مكان آخر من النظام الشمسي — المريخ مثلًا — فسيكون التفسير الأرجح هو أنها لم تنشأ هناك، بل انتقلت إلى هناك من الأرض بواسطة الصخور المتطايرة من كوكبنا بفعل اصطدام المذنبات والكويكبات به. نحن نعرف أن الأرض والمريخ يتبادلان الصخور، ويبدو من المرجح بدرجة كبيرة أن الميكروبات تنقلت في أرجاء النظام الشمسي على مدار تاريخه البالغ ٤٫٥ مليار عام.[4] لذا لن يثبت العثور على حياة على المريخ في حد ذاته أن الحياة بدأت من لا شيء أكثر من مرة. وبشكل أدق من الضروري إثبات أن الحياة على المريخ والحياة على الأرض مختلفتان بدرجة كافية بحيث يكون لهما أصلان مختلفان.

إن التساؤل عما إذا كنا وحدنا في هذا الكون أم لا يعد من أكبر الألغاز غير المحلولة في العلم. تعتمد الإجابة على هذا التساؤل على اكتشاف هل الحياة ليست إلا مصادفة استثنائية حدثت مرة واحدة في الكون القابل للرصد، أم أنها نتاج لقوانين مشجعة على الحياة تسهل من ظهورها كلما توافرت ظروف مشابهة لتلك الموجودة على كوكب الأرض. هناك علماء متميزون يناصرون كلتا وجهتي النظر. لا شك أن المادة الأساسية للحياة منتشرة في أرجاء الكون؛ فالحياة (على الأقل على الصورة التي نعرفها) مبنية على الكربون، وهو من أكثر العناصر شيوعًا. وتقوم الحياة أيضًا على الهيدروجين، أكثر العناصر شيوعًا على الإطلاق، إلى جانب النيتروجين والأكسجين والكبريت والفسفور، وجميعها موجودة في الكون بوفرة. بعض الوحدات البنائية للحياة؛ جزيئات عضوية على غرار الفورمالدهايد واليوريا، موجودة في السحب المنتشرة بين النجوم. أيضًا يشيع وجود الماء، وهو مكون أساسي آخر تقوم عليه الحياة الأرضية، بشكل كبير في النظام الشمسي وغيره من النظم النجمية وسحب الغازات. بهذا تتراكم المزيد من الأدلة على أن المواد المشجعة على الحياة — المواد العضوية والماء — موجودة في شتى أرجاء الكون. ومع ذلك فالطريق بين الوحدات البنائية البسيطة للحياة وأكثر أشكال الحياة البدائية بساطة لا يزال طويلًا للغاية. فبرغم كون الماء والمواد العضوية من المقومات الأساسية

للحياة، فإنها لا تكفي وحدها. وليس من الممكن أن نخلص — فقط استنادًا على شيوع الوحدات البنائية للحياة — إلى أن الحياة نفسها يشيع وجودها في الكون. لكن على حد علمنا كان من الممكن ظهور الحياة في أي مكان في الكون المرصود. وإذا اتضح أن الحياة مقصورة فقط على الأرض فسنعزو هذا إلى كونها مصادفة تاريخية فقط وليس علامة على وجود سمة مميزة يتفرد بها النظام الشمسي من حيث قابليته لاستضافة الحياة.

للسماح بوجود حياة في مكان واحد على الأقل من الكون لا بد من الوفاء بثلاثة متطلبات أساسية:[5]

(١) ينبغي أن تسمح قوانين الفيزياء بتكون بُنى معقدة مستقرة.
(٢) ينبغي أن يحتوي الكون على نوعية العناصر، مثل الكربون، التي تقوم عليها الحياة.
(٣) لا بد من وجود ظروف ملائمة تتآلف فيها المكونات الأساسية للحياة بصورة مناسبة.

حتى هذه المعايير الثلاثة تفرض قيودًا قاسية على الفيزياء وعلم الكونيات، وهي قاسية إلى حد أن بعض العلماء يرون أنها «مدبرة»، أو «مقصودة» لو كررنا وصف فريد هويل القوي. في هذا الفصل سأذكر بعض الأمثلة[6] على هذه «المصادفات الكونية» البارزة، بداية بتلك التي أثارت ذهول هويل.

(٣) نشأة العناصر الكيميائية

حدد علماء الكيمياء ما يربو على المائة عنصر كيميائي، وهي مصطفة بأناقة في صفوف وأعمدة الجدول الدوري الشهير الذي وضعه ديميتري مندليف في القرن التاسع عشر. بعض العناصر، كالكربون والحديد، يشيع وجودها، لكن عناصر أخرى، كالذهب واللنثانوم، نادرة الوجود. وفي الكون ككل تتألف المادة العادية (في مقابل المادة المظلمة) من عنصري الهيدروجين والهليوم؛ ذلك الهليوم الذي تكون في الدقائق القليلة الأولى التي تلت الانفجار العظيم. من التحديات التي تواجهها نظريات الفيزياء الفلكية محاولة تفسير الوفرة النسبية لبقية العناصر. لفترة طويلة ظل أصل هذه العناصر غامضًا، لكن بحلول أربعينيات القرن العشرين صار من

الواضح أن النجوم مسئولة بشكل كبير عن هذا الأمر؛ إذ إن النجوم مفاعلات نووية عملاقة، وهي حارة بما يكفي لتصنيع العناصر الثقيلة من الأخرى الخفيفة.

بدأت النجوم الأولى في التكون حين تجمع الهيدروجين والهليوم المتخلفان عن الانفجار العظيم في سحب كثيفة. استغرق هذا الأمر مئات الملايين من الأعوام لأن إشعاع الخلفية الكوني كان في بدايته قويًّا للغاية لدرجة تمنع استقرار الغازات. لكن في النهاية، بفعل قوى الجاذبية، انقسمت السحب المتكثفة إلى نجوم أولية؛ كرات من الغاز تزداد درجة حرارتها مع الانكماش. وفور وصول قلب كرة الغاز لحرارة تبلغ بضع ملايين الدرجات تنطلق التفاعلات النووية. يولد النجم الحقيقي حين تخلق هذه الحرارة قدرًا كافيًا من الضغط الداخلي يوقف عملية الانكماش. وبعد استقراره على هذا النحو يستمر النجم في الاحتراق دون كلل لملايين، أو ربما مليارات، الأعوام، استنادًا على كتلته. النجوم ذات الكتلة القليلة تكون أبرد نسبيًّا، لذا فهي تستهلك وقودها النووي بشكل أبطأ، وتعيش لفترة أطول، لكن النجوم الكبيرة تستهلك وقودها النووي بشراهة وسرعان ما تستنفده.

تستقي النجوم القدر الأعظم من طاقتها من تحويل الهيدروجين إلى هليوم في عملية الاندماج النووي. إبان الانفجار العظيم كان هذا التحول سريعًا ويسيرًا؛ لأن الكون كان مولودًا وبه مخزون وفير من النيوترونات الحرة. (للهليوم، كما تذكر، نواة تحتوي على بروتونَيْن ونيوترونَيْن. وتتكون نواة ذرة الهيدروجين من بروتون وحيد.) إلا أن النيوترونات تكون غير مستقرة عندما تكون منفردة؛ لذا لم يكن هناك كمية وفيرة حرة منها وقت بدء تكون النجوم. كان لا بد من إيجاد طريق آخر أبطأ بكثير للهليوم، باستخدام البروتونات وحدها. تتنافر البروتونات بعضها مع بعض لأنها تحمل شحنة كهربية موجبة، لكن في درجات الحرارة العالية يمكنها التحرك بسرعة كبيرة تمكنها من التواجد بالقرب بعضها من بعض. وإذا كانت السرعة كبيرة بما يكفي — كما هو الحال في القلب المتقد للنجم — يمكن لاثنين من البروتونات الاقتراب أحدهما من الآخر حتى نطاق عمل القوة النووية الشديدة، وهذا يفتح الباب أمام عملية التحول النووي. كما تذكر فإن القوة النووية الشديدة تنهار لنقطة الصفر بعد مسافة عشرة على التريليون من السنتيمتر، وهو ما يساوي بالتقريب حجم نواة الذرة، لذا لا يمكن للبروتونات الوقوع تحت تأثيرها إلا إذا اقترب بعضها من بعض، وحين يحدث ذلك فإن القوة النووية الشديدة قوية بما يكفي للتغلب على قوى التنافر الكهربي ذات المدى الأوسع. لسنا بحاجة

للإغراق في التفاصيل هنا، لكن يكفينا القول إنه أثناء عملية تكوين نواة هليوم واحدة من أربعة بروتونات يجب على بروتونَيْن التحول إلى نيوترونات.[7] رغم أن القوة النووية الشديدة هي المسئولة عن الطاقة المهولة التي تتحرر من تفاعلات الاندماج النووي، فإن عملية التحول الحيوية من البروتونات إلى نيوترونات تقع تحت سيطرة القوة النووية الضعيفة. لكن لأن هذه القوة ضعيفة فهي تبطئ عملية إنتاج الهليوم بالكامل، وذلك مقارنة بعملية تكون الهليوم التي حدثت أعقاب الانفجار العظيم مباشرة. هذا أمر طيب؛ لأنه يسمح للغالبية العظمى من النجوم بالاحتراق بثبات لفترة طويلة للغاية، وفي حالة شمسنا كانت هذه الفترة طويلة بما يكفي لظهور الحياة وتطورها على شكل كائنات معقدة.

حين ينخفض مخزون النجم من الهيدروجين يواجه أزمة طاقة. تعجز النجوم الصغيرة والمتوسطة الكتلة عن توليد أي حرارة من المفاعلات النووية، لذا فهي تنكمش على شكل أقزام بيضاء، لا يصدر عنها سوى حرارة بسيطة. أما النجوم ذات الكتلة العالية فتستطيع الاستمرار في عمليات الاندماج النووي كي تواصل السطوع، وذلك بفضل الارتفاع الكبير في درجة حرارتها الداخلية (التي تصل إلى مئات الملايين من الدرجات). ما هي إذن الخطوة التالية على اندماج الهيدروجين؟ الخطوة التالية مباشرة هي إضافة بروتون آخر إلى الهليوم لتكوين الليثيوم. لكن لا ينجح التفاعل من هذا النوع؛ لأن نواة الليثيوم المحتوية على ثلاثة بروتونات ونيوترونين غير مستقرة، وذلك لاحتواء الليثيوم عادة على ثلاثة أو أربعة نيوترونات. ماذا عن دمج نواتين من أنوية الليثيوم لتكوين نظير البيريليوم-٨، الذي تحتوي نواته على أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات؟ لا يفيد هذا أيضًا؛ لأن هذه النواة تكون غير مستقرة هي الأخرى بشكل كبير، وتتحلل فور تكونها. إن النظير المستقر للبيريليوم في الطبيعة تحمل نواته خمسة نيوترونات، وليس أربعة. لذا يمر هذا النجم بأزمة نووية خطيرة.

(٤) كيف تكون الكربون، العنصر الأساسي للحياة؟

بعد البيريليوم يأتي الكربون كأول العناصر الثقيلة؛ إذ يحتوي على ستة بروتونات وستة نيوترونات. هل من الممكن أن تكون النجوم قد وجدت سبيلًا لتجاوز الليثيوم والبيريليوم والاتجاه مباشرة من الهليوم إلى الكربون؟ سيتطلب هذا اتحاد

ثلاث أنوية من الهليوم في اللحظة ذاتها. إن حساب البروتونات والنيوترونات (٣ × ٢ × ٢ = ٦ + ٦) يسير بشكل صحيح، ويكون الناتج النهائي نواة كربون مستقرة. لكن لأن البروتونات المشتركة في هذه المقابلة النووية الثلاثية أكثر من الموجودة في عملية الاندماج النووي الأصلية للهيدروجين، تصير قوة التنافر الكهربي أكبر بالتبعية، لذا هناك حاجة لحرارة أعظم للسماح للأنوية بالتقارب بما يكفي للسماح للقوة النووية الشديدة بممارسة عملها. ليست هذه هي المشكلة؛ فبمزيد من الانكماش يمكن أن ترتفع حرارة قلب النجم إلى درجة كافية. لكن هناك صعوبة أساسية تخص التفاعل نفسه، وهي أن احتمال تقابل ثلاث أنوية للهليوم في نفس المكان ونفس اللحظة ضعيف للغاية. بالطبع ليس لزامًا عليها أن تصل في نفس اللحظة «بالضبط»، فمن الممكن أن تتحد نواتان للهليوم أولًا لتكوين نواة البيريليوم غير المستقرة بشكل كبير، وقبل أن تتحلل يمكن أن تلحق بها نواة الهليوم الثالثة. لكن من النظرة الأولى يتضح أن هذا أمر غير مرجح؛ نظرًا لتحلل نواة البيريليوم بسرعة كبيرة بما لا يعطي الفرصة لنواة الهليوم الثالثة للاصطدام بها. وهكذا يبدو من الظاهر أن هذا الطريق لتكوين الكربون مسدود هو الآخر.

كان هذا هو الموقف الذي تواجهه الفيزياء الفلكية في أوائل الخمسينيات. اهتم فريد هويل، عالم الفلك الإنجليزي المغمور نسبيًّا وقتها بهذه الأحجية. وقد رأى أن الكائنات القائمة في حياتها على الكربون بشكل عام، وفريد هويل نفسه بشكل خاص، لم تكن لتوجد من الأساس لو ظل تكون العناصر مقتصرًا على الهليوم وحده. حسن، من الواضح أن شيئًا ما حدث كي يتم تكوين ذرة الكربون، وهو على الأرجح شيء بداخل النجوم. وطالما فشلت الفيزياء النووية في تفسير تكون الكربون، فربما يكون المسئول عنه شيئًا غير عادي.

هذا يصل بنا إلى لب القضية. في العلم يحاول المرء تجنب اللجوء للمصادفات في تفسيراته. كما أن مبدأ شفرة أوكام يحضنا على تبني أبسط وأوضح التفسيرات أولًا. لكن أحيانًا لا تفلح التفسيرات البسيطة الواضحة، ونكون مرغمين على اللجوء لتفسير غير معتاد. وكما قال شيرلوك هولمز فإننا حين نستبعد المستحيلات، فإن ما يتبقى لنا، مهما كان مستبعدًا، هو الحقيقة. بشكل عام يعد الالتزام بالتفسيرات البسيطة الواضحة هو أفضل استراتيجية، لكن هناك موضوعًا واحدًا يمكن فيه للمصادفات الاستثنائية أن تدخل في نسيج التفسير العلمي السليم، وهذا الموضوع هو الحياة.

لتوضيح ما أعني تدبر هذه الحقيقة: «لم يحدث أن مات أحد أسلافك دون ذرية.» فعبر تاريخ البشرية كانت وفيات المواليد مرتفعة للغاية، ومات أطفال كثيرون قبل أن يبلغوا مرحلة البلوغ. الآن تخيل أسلافك السابقين على البشر، بالعودة للخلف لمئات الملايين من السنين.[8] منذ وقت طويل للغاية كان أسلاف البشر من السمك. فكر كيف تبيض الأسماك أعدادًا لا تُحصى من البيض، وتخيل النسبة الضئيلة للغاية التي نجت ونمت. ومع ذلك فلم يحدث أن أخفق أحد أسلافك من السمك — ولا حتى سمكة واحدة — في مهمته. ما احتمالات نجاح هذه السلسلة من الصدف السعيدة الممتدة دون انقطاع على مدار مليارات الأعوام، جيلًا بعد جيل؟ لا يمكن لأي يانصيب بشري أن يقدم مثل هذه الاحتمالات الصعبة، ومع ذلك ها أنت ذا، الفائز الأكبر بلعبة الحظ الداروينية الكبرى! هل يعني هذا أن وجودك ليس إلا معجزة؟ على الإطلاق. وإذا كان وجودك يعتمد على سلسلة متصلة من الأحداث الاستثنائية، فمن الممكن أن تكون هذه الأحداث جزءًا من تفسير علمي منطقي لا تشوبه شائبة. يطلق العلماء على هذا اسم «تأثير انتخاب المراقب». فبالنظر إلى العالم من عين المراقب لا بد للعالم الذي تراه من أن يشتمل على كل ما يمكنك — أنت المراقب — من رؤيته. لم يطبق فريد هويل هذا المنطق «الإنساني» على مشكلة تكون الكربون في النجوم عن طريق الالتجاء إلى سلسلة من الأحداث الاستثنائية، كما هو الحال مع أسلافنا، بل بالالتجاء إلى سمة استثنائية غير متوقعة من سمات نواة الذرة.

إليك تصوره عن الأمر: تعتمد سرعة التفاعل النووي على طاقة الجسيمات المشاركة فيه. في الغالب ينتج عن التفاوتات في معدلات الطاقة حدوث ارتفاع أو انخفاض طفيف في كفاءة التفاعل، لكن أحيانًا ما تحدث قفزة كبيرة في معدل التفاعل. يطلق العلماء على هذه الزيادة المباغتة اسم الرنين. يأتي هذا الاسم من الطريقة التي تدخل بها ميكانيكا الكم الصورة. تصف نظرية الكم جانبًا موجيًّا للجسيمات (انظر الإطار ٤)، بما في ذلك أنوية الذرات، وعادة ما ينتج عن الموجات رنين. على سبيل المثال، بعض مغني الأوبرا يمكنهم إصدار نغمات صوتية ذات تردد مرتفع تتوافق مع ذبذبات كأس زجاجي بما يكفي لتحطيمه. مثال معتاد آخر على الرنين يتمثل في ضبط مستقبل المذياع كي يتلقى إشارة محطة إذاعية بعينها. فحين يتوافق تردد الدوائر الموجودة في المذياع مع تردد الموجات اللاسلكية الآتية من المحطة، تتوافق الموجات مع الدائرة وتُضخَّم الإشارة بدرجة كبيرة. يمكن

للموجات الكمية أن تتوافق بهذا الشكل هي الأخرى، ومن ثم تعزز معدل العمليات الذرية أو النووية.

شعر هويل أن الرنين يحمل تفسير عملية تكون الكربون؛ إن كتلة نواة الكربون أقل نسبيًّا من مجموع كتل أنوية الهليوم الثلاث التي من المفترض أنها تتصادم معًا كي تكونها، وذلك بسبب الكتلة/الطاقة المنطلقة عند تكون الكربون. بيد أن الأنوية توجد في حالات استثارة أيضًا، لذا استنتج هويل أن نواة الكربون لا بد أن لها حالة استثارة أعلى بقليل من الكتل/الطاقات المجتمعة لأنوية الهليوم الثلاث. وقتها يمكن لنظام الهليوم-البيريليوم أن يتناغم مع هذه الكتلة/الطاقة إذا تم تعويض هذا النقص البسيط من الطاقة الحركية للجسيمات المتدافعة داخل النجم المتقد. سيكون تأثير هذا الرنين إطالة عمر نواة البيريليوم غير المستقرة، وهذا يعطي نواة الهليوم الثالثة فرصة جيدة للاصطدام بها. وهكذا سيكون الطريق مفتوحًا أمام تكون وفرة من ذرات الكربون، رغم كافة الاحتمالات المعاكسة. وقد حسب هويل المقدار الذي ينبغي أن تكون عليه طاقة الرنين.

حدث هذا في عام ١٩٥١. لم يكن الكثير معروفًا عن حالات استثارة النواة، رغم تطوير برنامج تجريبي على هذا الأمر إبان الحرب العالمية الثانية لخدمة مشروع مانهاتن لإنتاج القنبلة الذرية. كان هويل يزور معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (كالتك) في هذا الوقت، وعرض على مجموعة من علماء الفيزياء النووية الأمريكان، من ضمنهم ويلي فاولر (الذي سيفوز بجائزة نوبل عن عمل له صلة بالموضوع)، تنبؤاته المتعلقة بالرنين النووي للكربون. تشكك العلماء في فكرة ظهور عالم فلك بريطاني مغمور بشكل مفاجئ والزعم بأنه يعرف عن نواة الكربون أكثر مما تعرفه مجموعة من أهم خبراء الفيزياء النووية الأمريكان. لكن هويل واصل الإلحاح على زملاء فاولر إلى أن وافقوا على إجراء تجربة للتحقق من صحة فكرته. وبعد عمل بعض التعديلات على معداتهم أعلن علماء الفيزياء النووية صحة تخمين هويل. هناك بالفعل رنين في الكربون، وبطاقة مناسبة تمامًا كي تصنع النجوم كميات وفيرة من هذا العنصر من خلال عملية الأنوية الثلاث للهليوم. أكدت التجارب أن الرنين سيطيل عمر نواة البيريليوم غير المستقرة لما يقارب المائة مليار مليار جزء من الثانية، وهي الفترة الكافية كي يحدث التفاعل بين أنوية الهليوم الثلاث. وفور تكون الكربون يصير الجزء المتبقي يسيرًا. فلا توجد مآزق أخرى. يتكون الأكسجين بعد ذلك، ثم النيون، ثم الماغنسيوم، وهكذا على امتداد الجدول

الدوري وصولًا إلى الحديد. يغطي هذا تقريبًا كل العناصر التي تحتاجها الحياة للاستمرار. تنتج النجوم أيضًا العناصر الأثقل من الحديد، لكن هذا لا يتم إلا أثناء ثوراتها المتفجرة، حين يكون المزيد من الطاقة موجودًا.[9]

تركت قصة الكربون انطباعًا عميقًا لدى هويل؛ إذ أدرك أنه لولا مصادفة وجود رنين النواة بهذا القدر المناسب من الطاقة، لم يكن هناك وجود للكربون، ولا للحياة على الأرجح، في هذا الكون. تتحدد الطاقة التي يحدث وفقها رنين الكربون بالتفاعل بين القوة النووية الشديدة والقوة الكهرومغناطيسية. إذا كانت القوة النووية الشديدة أقوى أو أضعف بقدر يسير (بقدر يصل إلى واحد بالمائة)،[10] كانت الطاقات التي تربط النواة ستتغير ولم يكن الرنين ليحدث بشكل متوافق، وربما كان الكون وقتها خاليًا من الحياة ويمضي دون أن يرصده أحد.

ما الذي نستخلصه من هذا؟ حين جذب هويل الانتباه لهذا الموضوع كانت النظرة التقليدية هي أن قوة القوى النووية «ثابتة»؛ مجرد «متغير حر»، لا تتحدد قيمته من خلال أي نظرية بل يجب قياسها من واقع التجارب. وكانت الاستجابة التقليدية هي عدم المبالاة بالقضية من الأساس وقول: «القيمة التي هي عليها هي القيمة التي هي عليها، ولو كانت مختلفة لم نكن لنوجد حتى نقلق بشأن هذا الأمر.» بيد أن هذا التوجه يبدو غير مرض بشكل ما، فبالتأكيد يمكننا أن نتخيل كونًا يكون فيه قانون القوة النووية مماثلًا للذي لدينا، لكن مستوى القوة نفسها مختلف، تمامًا مثلما يمكن تخيل عالم تكون فيه قوة الجاذبية أقوى أو أضعف مما لدينا، لكنها تطيع نفس القوانين. إن حقيقة كون قيمة القوة النووية الشديدة والقوة الكهرومغناطيسية في نواة الذرة «ملائمة تمامًا» للحياة (تمامًا كما هو الحال في عصيدة جولديلوكس) تحتاج للتفسير.

كتب جورج جاموف، الذي كان مسئولًا عن وضع نموذج الانفجار العظيم للكون على خريطة العلم في أوائل الخمسينيات، هذا الوصف الطريف لأهمية اكتشاف هويل، وقد أطلق عليه اسم «السِّفر الجديد»:

> في البدء خلق الإله الإشعاع والإلم (Ylem هو اسم المادة الأولية التي افترض جاموف ومعاونوه أنها اتحدت لتكون العناصر الخفيفة بعد الانفجار العظيم).[11] وظل الإلم دون شكل أو عدد، وكانت الأنوية تتدافع بجنون في أعماق الكون.

ثم قال الإله: «لتكن هناك كتلة ثانية.» وبالفعل ظهر الديوتيريوم، وكان مُرضيًا.

ثم قال الإله: «لتكن هناك كتلة ثالثة.» وبالفعل ظهر التريتيوم،[12] وكان مُرضيًا.

وهكذا استمر الحال إلى العناصر الموجودة بعد اليورانيوم. لكن عندما أعاد الإله النظر إلى ما فعله، رأى أنه لم يكن مُرضيًا؛ ففي غمرة العد، نسي الكتلة الخامسة،[13] وبالتالي، فمن الطبيعي أنه لم يكن في الإمكان تكون عناصر أثقل.

استاء الرب من تلك الزلة، وأراد أن يقلص الكون، ويعيد خلق كل شيء من جديد. ولكن تلك مهمة غاية في البساطة، ولهذا، قرر الإله، وهو القدير، أن يخلق العناصر الثقيلة بأكثر الطرق استحالة.

ومن ثم قال الإله: «ليكن هناك فريد هويل»، فكان فريد هويل، وشاهده الإله وأوكل له أن يصنع العناصر الثقيلة بأي طريقة تعجبه.

وهكذا قرر هويل صنع العناصر الثقيلة في النجوم، ونشرها في أرجاء الكون من خلال انفجارات السوبرنوفا. ولكن أثناء ذلك، تعين عليه أن يحصل على نفس منحنى الوفرة الذي كان سينتج من عملية التخليق النووي داخل الإلم، في حالة أن الإله لم يكن قد نسي خلق الكتلة الخامسة.

وبعدها، وبعون من الإله، خلق هويل العناصر الثقيلة بهذه الطريقة، غير أنها كانت معقدة حتى إنه لا هويل، ولا الإله، ولا أحد بإمكانه اليوم أن يعرف بالتحديد كيف تكونت هذه العناصر.

آمين.[14]

(٥) القوة الضعيفة، «عملية مدبرة» أخرى؟

بالطبع ليست هذه نهاية القصة، لكن قبل أن نتابعها أود استعراض بعض «المصادفات» الأخرى ذات الطبيعة المشابهة. اتضح أن مصادفة هويل المدبرة كانت الأولى ضمن العديد من المصادفات التي تلعب فيها تغييرات طفيفة في بعض الثوابت الأساسية للفيزياء دورًا محوريًّا. من سبل التفكير في هذا الأمر تخيل محاولة تصميم الكون. افترض أن قوانين الفيزياء الأساسية أرسيت بالفعل،



شكل ٧-١: آلة التصميم الكونية. من خلال إدارة مفاتيح هذه الآلة الخيالية، يمكن تغيير بعض الثوابت الفيزيائية للكون، على غرار كتلة الجسيمات ومقدار شدة القوى. تخبرنا الحسابات بأن أقل تغيير في بعض المتغيرات الأساسية يمكن أن يؤدي لانهيار البنية المألوفة للكون ومنع نشوء الحياة به.

ولكن لديك بعض المتغيرات الحرة تحت تصرفك، وأن قيم هذه المتغيرات يمكن تحديدها من خلال إدارة مفاتيح «آلة التصميم» (انظر الشكل ٧-١). فإذا أدرت أحد المفاتيح يصير الإلكترون أثقل قليلًا، وإذا أدرت آخر تصير القوة النووية الشديدة أضعف، وهكذا. يمكنك عمل هذا ورؤية ما سيحدث للكون. متى سيكون الاختلاف عظيمًا ومتى سيكون تافهًا؟ رغم عدم قدرة علماء الفيزياء على إجراء هذه التجربة بشكل فعلي (على الأقل إلى الآن!) إلا أن بمقدورهم إجراء حسابات بسيطة لرؤية تأثير هذه التغييرات، في ظل تساوي كافة العوامل الأخرى، على احتمالات وجود الحياة في الكون. الشرط «في ظل تساوي كافة العوامل الأخرى» مهم للغاية هنا؛ لأننا لا نعرف هل المتغيرات محل الدراسة حرة ومستقلة بعضها عن بعض، أم أنها مترابطة وفق نظرية أشمل، أو ربما حتى محددة تمامًا من قِبل هذه النظرية. ربما لا تستطيع زيادة كتلة الإلكترون «إلى جانب» تقليل قوة القوى النووية الشديدة في الوقت ذاته لأن هاتين السمتين للطبيعة مترابطتان على مستوى أعمق يمنع حدوث هذا. لكن من واقع معرفتنا الحالية ليست هذه هي المشكلة.

دعونا إذن نعبث بآلة التصميم قليلًا ونرى ما سيحدث. تحدثت من قبل عن القوة النووية الشديدة، لكن ماذا عن القوة النووية الضعيفة؛ تلك المسئولة عن أشياء مثل التحلل الإشعاعي وتحول النيوترونات إلى بروتونات؟ الموقف هنا أقل خطورة، لكنه مثير للاهتمام في الوقت ذاته. للقوة النووية الضعيفة دور في عملية تكون الكربون، ليس في تصنيع الكربون فقط، بل في توزيعه أيضًا. إن ذرات الكربون الموجودة في جسدك تكونت داخل أحد النجوم في مكان ما، منذ مليارات الأعوام. كيف انتهى بها المطاف على كوكب الأرض؟ من الطرق التي يُخَلِّص بها النجم نفسه من الكربون هي الانفجار. من المعتاد أن تنتهي حياة النجوم الضخمة بصورة كارثية على شكل سوبرنوفا. ما يحدث هو أن قلب النجم ينفد منه الوقود النووي، ويعجز عن الاستمرار في دعم الضغط المهول المطلوب لتماسكه في مقابل ثقل مادته. يصل النجم لنقطة حرجة يستسلم فيها القلب وينهار على نفسه بشكل كارثي مكونًا إما ثقبًا أسود أو نجمًا نيوترونيًّا (اعتمادًا على كتلته الأولية). تندفع الطبقة الخارجية للنجم نحو القلب في أعقاب انهياره، لكن سرعان ما ترتد وتنفجر على نحو هائل، ناثرة الغاز عبر الفضاء بين النجميّ. تحدث مثل هذه الانفجارات النجمية الضخمة بمعدل مرتين لثلاث في كل قرن في المجرة الواحدة، وتطلق مقدارًا عظيمًا من الطاقة؛ حتى إن النجم المنفجر يضاهي المجرة بأكملها في درجة السطوع لعدة أيام.

تعد القوة النووية الضعيفة من العوامل الرئيسية في آلية الارتداد؛ فحين ينهار قلب النجم على نفسه تنضغط بروتوناته وإلكتروناته معًا بعنف، وبفعل القوة النووية الضعيفة تتحول البروتونات إلى نيوترونات، وكل بروتون يُضحى به يطلق نيوترينو خلال هذه العملية.[15] وهكذا يتدفق فيض غامر من النيوترينوات من القلب المنهار. هذا ليس كلامًا نظريًّا؛ ففي عام ١٩٨٧ نجحت تجربة تمت تحت الأرض في اليابان بهدف البحث عن تحلل البروتونات في التقاط دفقة من النيوترينوات في نفس الوقت الذي انفجر فيه أحد نجوم السوبرنوفا في مجرة «سحابة ماجلان الكبرى». تتفاعل النيوترينوات مع المادة العادية من خلال القوة النووية الضعيفة وحسب. في الظروف العادية يكون التفاعل ضعيفًا بحيث لا يحدث أي تأثير، بيد أن الظروف داخل النجم المنفجر أبعد ما تكون عن العادية. إن المادة النووية للنجم تنهار على نفسها إلى كثافة تصل إلى المليار طن في السنتيمتر المكعب، وهذه كثافة هائلة لدرجة أنه حتى النيوترينوات تجد صعوبة

بالغة في المرور من المادة. وفي حين تتدفق النيوترينوات من قلب النجم، تمارس ضغطًا قويًّا دفعًا إلى الخارج، وهذا يساعد في عملية ارتداد المادة المندفعة إلى قلب النجم، ويرسلها بقوة صوب الفضاء. لو كانت القوة النووية الضعيفة أضعف مما هي عليه فستفقد النيوترينوات القدرة على عمل هذا الانفجار، ولو كانت أقوى كانت النيوترينوات ستتفاعل بقوة أكبر مع قلب النجم ولم تكن لتندفع منه لتسدد ضربتها للطبقة الخارجية. في كلتا الحالتين كانت عملية توزيع الكربون وغيره من العناصر اللازمة للحياة ستتعرض للفشل.[16]

(٦) القوة الضعيفة في الكون المبكر

تلعب القوة الضعيفة دورًا مهمًّا في جانب آخر من قصة الحياة؛ ألا وهو التحكم في مقدار الهليوم المتكون في الكون المبكر الحار. في الفصل الثالث أوضحت كيف أن الوفرة النسبية للهيدروجين والهليوم تعتمد على نسبة النيوترونات إلى البروتونات في المادة الأولية التي تواجدت بعد ثانية واحدة من الانفجار العظيم، إليك الكيفية التي تؤثر بها القوة الضعيفة على سير الأمور: إن النيوترون المعزول غير مستقر، ويصل عمر النصف له إلى ٦١٥ ثانية، ثم يتحلل إلى بروتون.[17] عملية التحلل هذه نتاج لعمل القوة النووية الضعيفة. لكن الكون احتاج حوالي ١٠٠ ثانية كي يبرد بما يكفي كي يبدأ الديوتيريوم في التكون، لذا كان الوقت المتاح محدودًا. لو كانت القوة الضعيفة أقوى بقدر طفيف فستتحلل النيوترونات الأولية بشكل أسرع، مقللة كمية الهليوم المنتجة، وهو ما سيقلل بدوره من عملية تكوين الكربون الداعم للحياة في النجوم. وفي المقابل، لو كانت القوة الضعيفة أضعف بقليل فسنواجه مشكلة مختلفة. كانت المادة الكونية الأولية خليطًا من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والنيوترينوات. قبل ثانية واحدة تقريبًا كانت فصائل الجسيمات المختلفة محفوظة في درجة حرارة متساوية (أي كانت في حالة توازن ديناميكي حراري) بفعل تفاعلات متعددة. لعبت النيوترينوات الدور الأساسي في الحفاظ على حالة التوازن بين البروتونات والنيوترونات؛ لأن هذين النوعين من الجسيمات يمكنهما التحول من أحدهما للآخر عن طريق إطلاق أو امتصاص النيوترينوات (أو مضادات النيوترينوات). ومع ذلك فإن قدرة النيوترينوات على توزيع الطاقة الحرارية بشكل عادل بين البروتونات والنيوترونات تعتمد بالأساس على ما إذا كان

التحول يحدث بسرعة كافية تتوافق مع الانخفاض في درجة الحرارة. إن سباق التوافق يصير أصعب وأصعب؛ لأن تمدد الكون يخفف كلًّا من طاقات الجسيمات المشاركة وكثافاتها، ومن ثم يقلل معدل التفاعل. وفي النهاية يأتي الوقت الذي تخسر فيه الجسيمات الصراع؛ إذ لا تستطيع النيوترينوات المسكينة — المسلحة بالقوة النووية الضعيفة فقط — أن تواصل عملها ومن ثم تنسحب من اللعبة. يقع حادث «الانفصال» هذا قبل أقل من عمر ثانية واحدة. في هذه النقطة ينتهي التوازن الديناميكي الحراري بين البروتونات والنيوترونات نظرًا لعدم وجود آلية لتوزيع الطاقة المتاحة بين هذين النوعين من الجسيمات.

النيوترونات أثقل من البروتونات بحوالي ٠٫١ بالمائة، لذا يعني التوزيع العادل أنها لو حصلت على حصتها المستحقة وحسب من الطاقة المتاحة فسيكون عددها أقل في النهاية من البروتونات (لأن تكون النيوترون الأثقل قليلًا من البروتون سيحتاج قدرًا أكبر من الطاقة). يعتمد مقدار إسهام هذا التباين في الكتلة في الزيادة العددية للبروتونات عن النيوترونات إلى حدٍّ بعيد على درجة الحرارة، فبعد ميكروثانية من الانفجار العظيم، حين كانت درجة الحرارة تبلغ تريليون درجة، لم يكن لفارق الكتلة البالغ ٠٫١ بالمائة أثر يذكر (بالمقارنة بالطاقة الحرارية الهائلة المتاحة)، لذا كانت نسبة النيوترونات إلى البروتونات واحدًا إلى واحد تقريبًا. لكن مع انخفاض درجة الحرارة أكثر وأكثر صارت الطاقة الحرارية متاحة للتقاسم، وهنا مالت الكفة بدرجة كبيرة ناحية البروتونات الأخف وزنًا؛ إذ انخفضت نسبة النيوترونات إلى البروتونات بشكل قاس لتبلغ واحدًا إلى ستة (أي ستة بروتونات مقابل كل نيوترون). في هذه المرحلة خرجت النيوترينوات من المعادلة، وظلت نسبة البروتونات إلى النيوترونات ثابتة على ما يربو قليلًا عن الستة إلى واحد.

الآن يمكنك أن ترى ما كان سيحدث لو أن القوة الضعيفة كانت أضعف مما هي عليه: كانت النيوترينوات ستترك الصراع بشكل أسرع، حين كان الكون أكثر حرارة وكانت المزية العددية الممنوحة للبروتونات الأخف وزنًا، بفعل مبدأ التوزيع العادل، أقل. كان هذا سيعني وجود نيوترونات أكثر وبروتونات أقل في الخليط النهائي. ولأن فائض البروتونات هو الذي شكل بعد ذلك الهيدروجين، ستكون بالتالي كمية الهيدروجين في الكون أقل وتكون نسبة الهليوم أعلى. ولو كانت النسبة التي توقف عندها التفاعل واحدًا إلى واحد بالضبط، كانت المادة «كلها» سينتهي بها الحال إلى الهليوم. كانت قلة الهيدروجين ستتسبب تداعيات خطيرة على الحياة؛

فالنجوم المستقرة طويلة العمر، كشمسنا، هي مفاعلات نووية هيدروجينية، ودون مخزون وفير من هذه المادة الخام كانت النجوم ستحرم من الوقود اللازم لها وكانت خصائصها ستختلف اختلافًا كبيرًا. أيضًا يتحد الهيدروجين مع الأكسجين لتكوين الماء، الذي يلعب دورًا محوريًّا في قصة الحياة بجميع مراحلها. على سبيل المثال، بدأت الحياة على الأرجح في «حساء بدائي» مائي، وطوال القدر الأعظم من تاريخها، ظلت الحياة على الأرض مقصورة على المحيطات. وحتى حيوانات البر، مثلنا، تتكون أجسامها بنسبة ٧٥ بالمائة من الماء. ودون وفرة من الماء ستكون فرص ظهور الحياة وازدهارها شحيحة.

المحصلة النهائية لتلك الاعتبارات النووية العديدة، إذن، هي أنه لو كانت القوة النووية الضعيفة أقوى مما هي عليه أو أضعف ولو بقدر ضئيل، كان التركيب الكيميائي للكون سيختلف اختلافًا كبيرًا، مقللًا من فرص ظهور الحياة.

(٧) الضبط الدقيق للقوى الأخرى

سأتحول الآن إلى القوتين الأخريين من قوى الطبيعة؛ قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية. إلى أي مدى تسهم خصائصهما في قصة الحياة؟ من السهل تبين كيف يمكن لتغيير خصائص هاتين القوتين بشكل كبير أن يهدد الحياة، فلو كانت الجاذبية أقوى فستحترق النجوم أسرع، وتموت في سن مبكرة؛ فإذا تمكنا بصورة سحرية من جعل قوة الجاذبية أقوى، لنقل، بمرتين، عندئذٍ ستسطع الشمس أقوى بمائة ضعف، وسينخفض عمرها كنجم مستقر من ١٠ مليارات عام، إلى أقل من ١٠٠ مليون عام، وهي فترة غير كافية لظهور الحياة، وبالتأكيد لا تكفي لتطور مراقبين أذكياء. وإذا كانت القوة الكهرومغناطيسية أقوى بمرتين لكانت قوة التنافر الكهربي بين البروتونات أعظم، وهو ما يهدد استقرار النواة.

من الأمور اللافتة للنظر في قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية ذلك الاختلاف الشاسع بين قوتيهما؛ ففي ذرة الهيدروجين العادية يرتبط إلكترون وحيد ببروتون وحيد بفعل قوة الجذب الكهربي. لكن ثمة مصدرًا آخر للجذب هنا أيضًا؛ إنه قوة الجاذبية. من السهل حساب القوة النسبية لكلا نوعي الجذب، ويتضح من الحسابات أن القوة الكهربية أقوى بحوالي $١٠^{٤٠}$ مرة من قوة الجاذبية. من الجلي، إذن، أن قوة الجاذبية أضعف بمراحل مقارنة بالقوة الكهرومغناطيسية.

لكن ليست هذه هي الكيفية التي نشعر بها بهذه القوى؛ فنحن نشعر بقوة الجاذبية الأرضية كثيرًا، وتبدو القوى الكهربية تافهة مقارنة بها. السبب في ذلك هو التأثير التراكمي لقوة الجاذبية؛ فكلما زادت المادة صارت الجاذبية أقوى. لكن الموقف مختلف في حالة الشحنات الكهربية لأنها تأتي على صورتين، موجبة وسالبة. فإذا راكمت شحنة كهربية موجبة عظيمة في مكان ما فستجتذب إليها شحنة سالبة من البيئة المحيطة، وهو ما يقلل من قوتها الصافية. بهذه الصورة تتسم الشحنة الكهربية بأنها كابحة لذاتها بطبيعتها. لكن هذا لا يحدث مع الجاذبية؛ فكلما زادت المادة الموجودة في مكان ما جذبت إليها المزيد من المادة، وتعاظمت قوة الجاذبية المجتمعة أكثر. لذا تعد قوة الجاذبية معززة لذاتها بطبيعتها، وبهذا رغم ضعفها الشديد فإنها تستطيع التراكم حتى تصير مهيمنة، كما يحدث في حالات انهيار النجوم.

منذ عدة سنوات وجد براندون كارتر علاقة مثيرة للدهشة بين النسبة غير المفسرة ١٠^٤٠ وخصائص النجوم؛ على كل نجم أن ينقل الحرارة من الأتون المتقد في قلبه إلى السطح، حيث يشع الحرارة إلى الفضاء. يمكن للحرارة أن تتدفق بصورتين؛ بالإشعاع: وفي هذه الحالة تحمل الفوتونات الطاقة، وبالحمل: وفي هذه الحالة يرتفع الغاز الحار من الأعماق إلى السطح، حاملًا الحرارة معه. لشمسنا طبقة خارجية توصل الحرارة بالحمل، ومن خلال التلسكوب يبدو سطحها في حالة من الغليان الهائل المضطرب. يعتقد العلماء أن هذه الحركة الخاصة بحمل الحرارة تلعب دورًا في تكوين الكواكب، رغم أنهم لا يعرفون كيف يحدث هذا تحديدًا (لا تزال عملية تكون الكواكب غير مفهومة إلى حدٍّ بعيد). تعتمد النجوم الأكبر على نقل الحرارة بالإشعاع وليس بالحمل، ويُعتقد أن لهذا دورًا في تشكيل الظروف المؤدية إلى انفجارات السوبرنوفا. ولأن الكواكب والسوبرنوفا تلعب دورًا حيويًّا في قصة الحياة، من الأهمية بمكان أن يحتوي الكون على النجوم التي تنقل الحرارة بالحمل، وتلك التي تنقلها بالإشعاع. اكتشف كارتر من نظرية البنية النجمية أنه للحصول على كلا النوعين من النجوم يجب أن تكون نسبة القوة الكهرومغناطيسية إلى قوة الجاذبية قريبة للغاية من القيمة المحددة ١٠^٤٠. إذا كانت قوة الجاذبية أقوى بقليل فستكون النجوم كافة من النجوم الناقلة للحرارة بالإشعاع، ولم تكن الكواكب لتتكون، ولو كانت الجاذبية أضعف فستكون النجوم كافة من النجوم الناقلة للحرارة بالحمل، وربما لم تكن السوبرنوفا لتوجد، وفي كلتا الحالتين، كانت احتمالات ظهور الحياة ستقل كثيرًا.

(٨) المزيد من أعاجيب الضبط الدقيق

كما لو أن ما وصفته إلى الآن ليس كافيًا، ثمة المزيد من «الصدف السعيدة» في الفيزياء الأساسية تجعل الكون ملائمًا لاستضافة الحياة. من الأمثلة الأخرى كتل الجسيمات دون الذرية المتنوعة. يضع الفيزيائيون جداول لها، ويضعون بها أرقامًا مبهرة، بيد أنها من الظاهر لا تحمل أي معنى على الإطلاق. دائمًا ما أتلقى العديد من المخطوطات من علماء هواة ذوي عقول حالمة يعتقدون أنهم حددوا أنماطًا معينة للقيم العددية لهذه الكتل. لكن مما يؤسف له أن كل هذه الأفكار غير سليمة. ربما في يوم ما يتمكن المنظرون من استقاء هذه الأرقام من بعض المبادئ الرياضية الأعمق المرتبطة بنظرية فيزيائية ملائمة، لكن ليس من المرجح حدوث هذا في وقت قريب. في الوقت ذاته يمكننا اعتبار هذه الأرقام كمسلمات، والتحديق بها، والتساؤل عما تعنيه للحياة.

لتدرك ما أعني تدبر ما يلي؛ النسبة بين كتلة البروتون وكتلة الإلكترون هي ١٨٣٦,١٥٢٦٦٧٥، وهو رقم عادي لا شيء استثنائي فيه، وتبلغ النسبة بين كتلة النيوترون وكتلة البروتون ١,٠٠١٣٧٨٤١٨٧٠، وهو رقم لا يوحي بشيء هو الآخر. من الناحية المادية يعني هذا الرقم أن البروتون يحمل تقريبًا نفس كتلة النيوترون؛ الأثقل، كما رأينا من قبل، بحوالي ٠,١ بالمائة. هل هذه الحقيقة مهمة؟ في الواقع هي كذلك، ولا تقتصر أهميتها على تحديد نسبة الهيدروجين إلى الهليوم في الكون. إن حقيقة أن كتلة النيوترون يتصادف أنها أكبر بقدر طفيف من مجموع كتلة البروتون والإلكترون والنيوترينو مجتمعة هي التي تمكن النيوترونات الحرة من التحلل. فإذا كانت النيوترونات أخف ولو بقدر طفيف «جدًّا» فلن تتمكن من التحلل دون الاستعانة بطاقة خارجية من نوع ما. ولو كانت النيوترونات أخف ولو بنسبة واحد بالمائة فستكون كتلتها أقل من كتلة البروتونات، وسينقلب الحال؛ إذ ستكون البروتونات المنفردة، وليس النيوترونات، غير مستقرة. وقتها ستتحلل البروتونات إلى نيوترونات وبوزيترونات، وهو ما سيكون له تداعيات خطيرة على الحياة؛ لأنه من دون البروتونات لن توجد ذرات أو كيمياء.

يقدم علم الكونيات أمثلة أخرى لافتة للنظر على الضبط الدقيق. كما ناقشت من قبل، يُغطى إشعاع الخلفية الكوني بتموجات أو اضطرابات مهمة للغاية؛ إذ إنها تعكس بذور البنية الكلية للكون. هذه البذور، كما تذكر، يُعتقد بأنها نشأت

في التفاوتات الكمية التي وقعت إبان التضخم. من الناحية العددية هذه التفاوتات لها حجم صغير؛ حوالي جزء واحد في كل مائة ألف جزء، وهي الكمية التي يشير لها علماء الكونيات بالحرف Q. لو حدث أن كان Q أصغر من واحد على مائة ألف، واحد على مليون مثلًا، فسيمنع هذا المجرات والنجوم من التكون. وعلى العكس، لو كان Q أكبر؛ جزء في العشرة آلاف أو أكثر، فستكون المجرات أكثر كثافة، وهذا سيؤدي إلى المزيد من التصادمات النجمية المخلة بنظام الكواكب. إذا كان Q كبيرًا للغاية فسينتج عن ذلك ثقوب سوداء عملاقة بدلًا من عناقيد النجوم. في شتى الحالات يحتاج Q أن يستقر في نطاق ضيق محدد كي يسمح بتكون نجوم مستقرة طويلة العمر وفيرة العدد مصحوبة بنظم كوكبية من النوع الذي نسكنه.

بالعودة إلى تشبيه آلة التصميم الكونية، فإن تجمع هذا العدد المناسب من «الصدف» السعيدة في الفيزياء وعلم الفلك يشي بضبط مفاتيح الآلة ضبطًا دقيقًا، وإلا لكان الكون غير صالح للسكنى إلى حدٍّ بعيد. ولكن كم عدد المفاتيح في هذه الآلة؟ يحتوي النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات حوالي عشرين متغير غير محدد، ويحوي علم الكونيات حوالي عشرة، وبهذا يكون لدينا أكثر من ثلاثين «مفتاحًا».[18] لكن كما حذرت من قبل، ليست جميع المتغيرات مستقلة بعضها عن بعض، ولا تحتاج كلها لهذا الضبط الدقيق كي تسمح بوجود الحياة، مع أن بعضها يحتاج هذا بالفعل. إن بعض الأمثلة التي ذكرتها تتطلب «ضبط المفاتيح» ضبطًا دقيقًا للغاية بهامش لا يتجاوز الواحد بالمائة كي يكون الكون ملائمًا للحياة. لكن حتى هذه الحساسية تبدو غير مهمة مقارنة بأكبر لغز يحيط بالضبط الدقيق على الإطلاق؛ إنه الطاقة المظلمة.

(٩) المثال الأعظم على الضبط الدقيق في الكون

وصفت الطاقة المظلمة بأنها قوة طرد — أو جاذبية مضادة — كونية تبعد المجرات بعضها عن بعض بمعدل متزايد. بيد أن هذا الوصف مضلل بعض الشيء؛ لأن الجاذبية المضادة تظل تعمل حتى في حالة عدم وجود المادة العادية على الإطلاق. وكما تحدثت باختصار في الفصل الثالث فإننا لو وضعنا في الاعتبار قوى الطرد الكونية فسيتمدد الكون الخاوي تمامًا بصورة «أسّية»؛ أي يتضاعف في

الحجم على فترات منتظمة من الوقت. خلاصة القول هو أننا نستطيع التفكير في الفضاء الخاوي على أنه مليء بطاقة مظلمة غير مرئية وما يرتبط بها من ضغط سالب، وهذا المزيج هو ما يخلق الجاذبية المضادة.

لماذا يجب أن يحتوي الفضاء الخاوي على طاقة مظلمة؟ لماذا لا يكون خاويًا وحسب، دون وجود أي طاقة من أي نوع؟ هناك سبب لذلك، ألمحت إليه في الفصل الثالث، يتمثل في أن الفضاء سيحتوي على طاقة مظلمة لو كان يتخلله مجال قياسي غير مرئي، مثل مجال التضخم. لن نقدر على رؤية هذا المجال أو لمسه، لكنه سيولد جاذبية مضادة، وهو نفس ما يفترض حدوثه بقوة إبان مرحلة التضخم للكون المبكر للغاية. لكن هناك سببًا آخر تقدمه لنا ميكانيكا الكم، التي تتنبأ بأنه حتى الفضاء الخاوي يمتلئ بجسيمات افتراضية (انظر الإطار ٤). تحمل الجسيمات الافتراضية طاقة على غرار الجسيمات العادية، ويتضح لنا أنها تحمل أيضًا مقدار الضغط السالب المطلوب لتوليد قوى طرد كونية من النوع الذي اقترحه أينشتاين.

أوضحت من قبل أنه حين أدرج أينشتاين قوى الطرد الكونية «عنوة» في نظرية النسبية العامة، لم تستطع النظرية نفسها تحديد قيمتها. كانت له حرية اختيار أي رقم يريده كي يضرب فيه طرف الجاذبية المضادة في المعادلة ومن ثم يحدد مدى شدة قوة الطرد الكونية الكلية. حدث أن استخدم أينشتاين البيانات الفلكية لحساب قيمة مقبولة تسمح بوجود كون ثابت، وهو النموذج الأثير لديه. حين غير أينشتاين رأيه حيال الكون الثابت، كان كل ما عليه عمله هو تعديل الرقم الذي يُضرب فيه طرف الطرد الكوني في المعادلة إلى الرقم صفر، وبهذا يلغي ذلك الطرف من المعادلات بالكامل. مثل هذا المنهج السريع غير الدقيق لحساب قوة الطرد الكونية، أو الجاذبية المضادة، قد يكون مبررًا إذا كان تحليلنا يقتصر على قوة الجاذبية وحدها، لكن حين تدخل ميكانيكا الكم الصورة فلن يفلح الأمر.

منذ حوالي ثلاثين عامًا قرر عدد من علماء الفيزياء النظرية، بمن فيهم أنا، تحديد مقدار الطاقة المظلمة التي ستتولد من جميع الجسيمات الافتراضية التي تقطن الفراغ الكمي (انظر الإطار ٧ لمزيد من التفاصيل). يمكن لنا التفكير، مثلًا، في المجال الكهرومغناطيسي وتحديد مقدار طاقة الكم الكامنة في حجم معين من الفضاء «الخاوي» (أي الذي لا يحوي أي فوتونات). ليس حساب ذلك

بالأمر العسير؛ بل يمكن الوصول لإجابة تقريبية بعمل بعض الحسابات على ظهر مظروف. إلا أن الإجابة، لسوء الحظ، يستحيل تصديقها. فبتحويلها إلى كثافة للمادة يكون الناتج حوالي 10^{93} جرام في السنتيمتر المكعب؛ ما يعني أن ملء كستبان من الفضاء الخاوي من المفترض احتواؤه على مليون مليار مليار مليار مليار مليار مليار طن! علق ستيفن هوكينج على هذا الأمر ذات مرة مازحًا بقوله: إن هذا بالتأكيد أكبر فشل لنظريات الفيزياء في التاريخ. كيف وقعنا في مثل هذا الخطأ؟[19]

إطار ٧: الطاقة المظلمة والفراغ الكمي

تتنبأ ميكانيكا الكم بأنه حتى الفضاء الخاوي مليء بالطاقة المظلمة، وإليك السبب: تخيل أن هناك بندولًا يتكون من كرة معلقة في خيط. حين يتأرجح البندول يكتسب نوعين من الطاقة: طاقة الحركة (المكتسبة من حركة البندول)، وطاقة الوضع (التي تكتسبها الكرة وهي ترتفع أعلى أكثر النقاط انخفاضًا في تأرجحها). تكون طاقة البندول صفرًا حين تتدلى الكرة دون حركة في أكثر النقاط انخفاضًا.

تغير ميكانيكا الكم هذه الصورة البسيطة. يمنع مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج الكرة من أن يكون لها حركة تامة التحديد وموضع تام التحديد في الوقت ذاته؛ فهناك تبادل في اليقين بينهما (انظر الإطار ٤). إذا تحدد موضع الكرة بدقة في أكثر النقاط انخفاضًا، وهو ما يقلل بالتالي الطاقة إلى الصفر تقريبًا، فسيكون عدم اليقين كبيرًا فيما يخص حركتها، ومن ثم لا يمكن أن تبلغ طاقتها الحركية الصفر قط. وبالعكس، إذا اعتُبرت الكرة في حالة سكون — أي إن طاقة الحركة لها تقارب الصفر — فسيكون عدم اليقين كبيرًا فيما يخص موضعها الرأسي، ومن ثم ستكتسب طاقة وضع. توضح الحسابات الدقيقة أن هذين الإسهامين الكميين في الطاقة دائمًا ما يؤديان للنتيجة ذاتها، والمسماة بطاقة نقطة الصفر للبندول. تعتمد قيمة هذه الطاقة على التردد الطبيعي لتأرجح البندول، فكلما تأرجح البندول أسرع صارت طاقة نقطة الصفر أكبر.

جميع النظم الكمية التي يمكنها التأرجح، على سبيل المثال الذرات الموجودة في البنية البلورية أو الجزيئات ثنائية الذرة، لها طاقة نقطة صفر غير قابلة للخفض. وحتى الموجات الكهرومغناطيسية لها طاقة نقطة صفر. وهذا ليس بمفاجأة؛ أخذًا في الاعتبار أن حركة الموجات متذبذبة. يمكن للموجات الكهرومغناطيسية أن يكون لها أي طول موجي، وكل طول موجي يملك طاقة نقطة صفر خاصة به غير قابلة للخفض، توجد حتى لو لم يكن هناك أية فوتونات حاضرة. كلما كان الطول الموجي أقصر زاد تردد الموجة وزادت طاقة نقطة الصفر المرتبطة بها.

من السهل إجراء عملية حسابية بسيطة نجمع فيها كل طاقات نقطة الصفر المرتبطة بجميع الأطوال الموجية المحتملة. لكن يجب اتخاذ قرار بشأن أين تتوقف عملية الجمع؛ لأن هناك عددًا لانهائيًّا من الأطوال الموجية (يمكن تمثيل المجال الكهرومغناطيسي على شكل مجموعة لانهائية من الذبذبات)، والأطوال الموجية متناهية الصغر لها طاقة غير محدودة. إذا جمعت كل هذا فستحصل على إجابة مفادها أن الفراغ يحتوي على طاقة نقطة صفر كمية «لانهائية». الطول المناسب للتوقف عن عملية الجمع هو طول بلانك (انظر الفصل الثالث)؛ لأن طاقة نقطة الصفر في هذا التردد كبيرة حتى إنها تبدأ في حني المكان إلى أشكال عجيبة. التوقف هناك يمدنا بقيمة طبيعية لكثافة الطاقة المظلمة، وهي طبيعية لأننا لم ندخل أي كميات إلى النظرية باستثناء ثوابت الطبيعة، ثابت الجاذبية وثابت بلانك وسرعة الضوء، التي تضمها النظرية على أية حال. بالتعبير عنها على شكل كثافة كتلية تبلغ القيمة المستقاة من عملية الجمع هذه حوالي ١٠^٩٣ جرام لكل سنتيمتر مكعب، وهو تقدير مبالغ فيه بشكل هائل مقارنة بالقيمة المقاسة للطاقة المظلمة، والبالغة قيمة تافهة قدرها ١٠^-٢٨ جرام لكل سنتيمتر مكعب.

في مواجهة مثل هذا الإحراج الكبير عمد علماء الفيزياء للبحث عن تفسير. ربما توجد آلية اختزال من نوع ما. إن المجال الكهرومغناطيسي ما هو إلا واحد من مجالات عديدة في الطبيعة، وبعض المجالات الأخرى تسهم بطاقة مظلمة سالبة. ربما يوجد تناظر عميق يجعل القوى الموجبة والسالبة يلغي بعضها بعضًا إلغاءً تامًّا. وفي الواقع يوجد بالفعل هذا النوع من التناظر، وهو التناظر الفائق. المشكلة هي أننا نعرف أن التناظر الفائق لا يعمل في العالم الحقيقي، وما لم يكن التناظر تامًّا فلن تلغي التأثيرات الموجبة والسالبة بعضها بعضًا. جُربت أفكار عديدة أخرى، لكنها جميعًا بدت ملفقة. ومع ذلك كان من الممكن أن نؤمن — بل آمن بالفعل بعض علماء الفيزياء والكونيات — بأن آلية فيزيائية «من نوع ما» هي التي قادت قيمة الطاقة المظلمة (أو قوى الطرد الكونية) إلى الصفر بالضبط.[20]

تحطمت هذه الآمال تمامًا حين اكتشف علماء الفلك أن الطاقة المظلمة لا تبلغ قيمتها صفرًا بأي حال. كان هذا الأمر صادمًا؛ إذ اتضح أن قيمة كثافة كتلة الطاقة المظلمة التي قاسها العلماء تبلغ عشرة أسّ ١٢٠ «أقل» من القيمة «الطبيعية» التي نحصل عليها من تطبيق نظرية الكم على الجسيمات الافتراضية في الفراغ (انظر الإطار ٧). حين كانت قيمة الطاقة المظلمة تبلغ الصفر، كان على الأقل من المقبول الاعتقاد بأن آلية ما، سيتم اكتشافها مستقبلًا، هي التي تعمل

على فرض هذا الاختزال بشكل تام. لكن، كما عبر ليونارد ساسكيند،[21] فإن الآلية التي تلغي حتى أس واحد من ١٢٠ أس ثم تتوقف بعد ذلك هي شيء مختلف بشكل كلي. لإعطاء القارئ فكرة عن كيف يبدو هذا الاختزال شبه التام وكأنه عملية ضبط مقصودة، سأكتب لك الرقم عشرة أس ١٢٠ كاملًا:

١.......................................

....

....

وهكذا تعمل عملية الضبط المقصودة هذه[22] بشكل رائع (إن لم يكن غامضًا) طيلة عشرة أس ١١٩ ضعف، لكنها تتوقف بعد أن تبلغ عشرة أس ١٢٠.

مهما تكن ماهية الطاقة المظلمة — وقد تكون هي الطاقة الطبيعية للفضاء الخاوي — فهي طاقة خطيرة. في الحقيقة، قد تكون هذه الطاقة أخطر شيء يعرفه العلم. منذ حوالي عشرين عامًا، أوضح ستيفن واينبرج أنه لو كانت شدة الطاقة المظلمة أكبر ولو بشكل بسيط من قيمتها المدركة، فستعمل على كبح عملية تكون المجرات.[23] تتكون المجرات عن طريق التجمع البطيء للمادة بفعل قوة الجاذبية. إذا قوبل هذا بقوة طرد كونية قوية بما يكفي فلن تتمكن المجرات من النمو بالشكل الملائم. وكما قلت من قبل فإنه دون المجرات لن تكون هناك نجوم أو كواكب على الأرجح، ولا حتى حياة. هكذا يعتمد وجودنا على كون الطاقة المظلمة غير قوية للغاية. إن فارق عشرة أضعاف يكفي لمنع الحياة من الظهور؛ بمعنى أنه لو كان الكون يحتوي على عشرة أضعاف مقدار الطاقة المظلمة التي يحتوي عليها الآن، إذن لتمدد بسرعة بالغة تمنع المجرات من التكون. قد يبدو فارق عشرة أضعاف كالهامش الواسع، لكن أسًّا واحدًا من ١٢٠ أسًّا يعد فارقًا تافهًا للغاية. إن العبارة التقليدية: «الحياة معلقة على حافة سكين.» هي وصف لا يفي موقفنا الحالي حق قدره؛ فلا يوجد في الكون بأسره سكين له مثل هذا الحد الرفيع.[24]

من الناحية المنطقية يمكن أن تتفق قوانين الفيزياء لخلق مثل هذا الاختزال شبه التام لقوة الطاقة المظلمة، لكن ستكون مصادفة استثنائية أن يكون «هذا القدر تحديدًا» من الاختزال — البالغ عشرة أس ١١٩ — هو المطلوب تمامًا لجعل الكون ملائمًا للحياة. إلى أي مدى يمكن الركون للمصادفات كجزء من التفسير

العلمي؟ من معايير الحكم على الأمر تشبيهه بإلقاء العملة المعدنية؛ الاحتمال عشرة أس ١٢٠ إلى واحد يعني الحصول على الصورة وليس الكتابة لما لا يقل عن أربعمائة مرة على التوالي. وإذا كان وجود الحياة في الكون لا يعتمد بالكامل على آليات الضبط الدقيق هذه، أي إنه ليس إلا مصادفة، فهذه هي احتمالات وجودنا. إن ذلك القدر من المصادفات يبدو عسيرًا على التصديق وحسب.

لكن ما البديل؟ هناك بالفعل طريقة أخرى لتفسير القيمة الضئيلة للطاقة المظلمة، بل وربما جميع «المصادفات» السعيدة الأخرى في الفيزياء والكون، لكنها تتطلب منا الابتعاد عن طريقة التفكير المعتادة في العلم، وعلماء كثيرون يرهبونها. لكن، كما سنرى في الفصل التالي، قد تكون هي الإجابة الوحيدة.

النقاط الأساسية

- يعتمد وجود الحياة كما نعرفها على العديد من المصادفات التي تشوب قوانين الفيزياء وبنية الكون.
- من الأمثلة الأولى الشهيرة على الضبط الدقيق لقوانين الفيزياء عملية إنتاج الكربون في النجوم، التي تتطلب عددًا من «المصادفات» لإنتاج الرنين النووي بالطاقة المناسبة.
- تلعب قوى الطبيعة الأربع دورًا في قصة الحياة. وتغيير إحداها، حتى ولو بقدر يسير، يمكن أن يدمر الكون.
- لا يمكن أن تكون كتلة بعض الجسيمات الأساسية مختلفة عما هي عليه دون المخاطرة بقدرة الكون على استضافة الحياة.
- القيمة المقاسة للطاقة المظلمة أقل بمقدار عشرة أس ١٢٠ من قيمتها الطبيعية، وذلك لأسباب غامضة تمامًا. ولو كان هذا المقدار عشرة أس ١١٩ وليس عشرة أس ١٢٠ لكانت عواقب ذلك مهلكة.

الفصل الثامن

هل تحل نظرية الكون المتعدد لغز جولديلوكس؟

(١) قد نكون الفائزين بالجائزة الكونية الكبرى

منذ وقت طويل والعلماء يدركون أن الكون يبدو ملائمًا بشكل مستغرب للحياة، بيد أنهم اختاروا في الغالب تجاهل هذا الأمر. كان الأمر مصدرًا للإحراج؛ إذ بدا كأنه يدعم فكرة التصميم المتعمد للكون. كانت المناقشات الخاصة بالمبدأ الإنساني محل استنكار بوصفها لغوًا غير علمي. يقول أندريه ليند إنه في الاتحاد السوفييتي لم يجرؤ سوى شخص واحد على العمل على هذه الفكرة.[1] لكن اليوم تغير الحال. ما صنع الاختلاف هو فكرة «الكون المتعدد»، التي تقدم فرصة تفسير تلك الملاءمة العجيبة للحياة بوصفها نتاجًا لعملية انتخاب مباشرة، دون الحاجة لأي تفسير آخر غير علمي.

تقول نظرية الكون المتعدد: إن ما ظللنا لفترة طويلة نطلق عليه مسمى «الكون» هو في الواقع ليس كذلك، بل هو مجرد قطعة متناهية الصغر من نظام أكبر وأكثر تعقيدًا بكثير؛ تجميعة من «الأكوان»، أو من مناطق كونية متمايزة (على غرار فكرة «الأكوان الجيبية» التي تعد أحد ملامح نظرية التضخم الأبدي). تخيل أن هذه الأكوان، أو المناطق، تتباين في بعض الخصائص المهمة للحياة. عندئذٍ، من البديهي أن تظهر الحياة فقط في الأكوان، أو المناطق، التي تشجع فيها الظروف على الحياة. أما الأكوان التي لا تشجع على الحياة فستمضي حياتها دون أن تُلاحَظ. ولهذا ليس مدعاة للدهشة أن نجد أنفسنا في كون مناسب لاستضافة الحياة؛ إذ لم يكن بمقدور المراقبين أمثالنا التواجد في كون لا يشجع على الحياة. إذا كانت

الأكوان تتباين بشكل عشوائي فمعنى هذا أننا الفائزون بجائزة اليانصيب الكونية الكبرى، وهذا ما خلق وهم فكرة التصميم. وشأن العديد من الفائزين بجوائز اليانصيب، قد نعزو، عن خطأ، فوزنا لأمور خاصة (كابتسام آلهة الحظ لنا أو ما شابه ذلك)، في حين جاء فوزنا نتيجة الصدفة وحدها.

دعني أعطك مثالًا يبدو فيه أن هذا النوع من الحجج يعمل بنجاح. انس أمر التضخم للحظة، وافترض أن الكون بدأ بانفجار عظيم تقليدي. تخيل أنه بدلًا من اتصافه بالتناسق والتطابق، تنوعت شدة الانفجار بشكل عشوائي من مكان لآخر (على الإطار الواسع جدًّا). في بعض المناطق سيفتقد الانفجار للقوة التي تنشر المادة، ومن ثم تنهار هذه المناطق على نفسها مخلفة ثقوبًا سوداء عملاقة. لا توجد حياة هناك. وفي مناطق أخرى كان الانفجار عنيفًا حتى إن المادة انتشرت بسرعة كبيرة منعت المجرات أو النجوم من التكون. لا توجد حياة هناك أيضًا. لكن في بعض المناطق المتفرقة، بفعل الصدفة وحدها، تظهر أماكن ملائمة للحياة مثل كوننا يكون فيها معدل التمدد مناسبًا تمامًا؛ فهو بطيء بما يسمح بقدر محدود من التجمع القائم على قوى الجاذبية (لتكوين المجرات والنجوم) لكن ليس بطيئًا جدًّا بحيث تتعرض تلك المناطق لانهيار كارثي (على شكل ثقوب سوداء). لن تكون هناك حاجة للاندهاش حين نجد أنفسنا في مثل هذه المنطقة الكونية حسنة التنظيم، حتى لو كان هذا أمرًا استثنائيًّا، وحتى لو كانت احتمالات نشوء هذه المنطقة ضعيفة؛ إذ إن الظروف الموجودة بها هي تمامًا نفس الظروف التي تساعد على الحياة.

منذ ثلاثين عامًا لجأ بعض علماء الكونيات لهذا النوع من الانتخاب الإنساني كي يفسروا لماذا يبدو التمدد الكوني ملائمًا لظهور الحياة بشكل تام، سواء من ناحية المعدل أو التجانس. لكن لأن سيناريو التضخم يفسر بشكل تلقائي هذه السمات المشجعة على الحياة في ضوء نظرية فيزيائية، هُجر التفسير الإنساني. إلا أن المشكلة لم تُحل بالكامل بعد لأننا لا نزال بحاجة لافتراض وجود مستوى مناسب تمامًا من الاضطرابات في كثافة المادة الأولية لتكوين المجرات؛ تلك الاضطرابات التي نتجت على الأرجح من التفاوتات الكمية إبان مرحلة التضخم. ليس معروفًا بعد سبب امتلاك التفاوتات الموجودة في كوننا لمقدار القوة التي هي عليه. ربما نكتشف أنها نتاج حتمي لنظرية أخرى، وربما تتباين قوة التفاوتات من منطقة لأخرى، وفي هذه الحالة سيظل هناك قدر من الانتخاب الإنساني.

(٢) اختلاف البنية الكونية قد يكون مقبولًا، لكن هل يمكن أن تتباين قوانين الفيزياء؟

كل هذا قد يكون مقبولًا عند الحديث عن بنية الكون، لكن ماذا عن الأمثلة الأخرى للضبط الدقيق التي ناقشتها في الفصل السابق، مثل مصادفة رنين نواة الكربون الشهيرة لهويل؛ سمات يبدو كأنها تحتاج لقيم دقيقة للقوة النسبية بين القوة النووية الشديدة والقوة الكهرومغناطيسية؟ وماذا عن كتلة الجسيمات دون الذرية العديدة؟ لتفسير هذه الأخيرة من واقع «الصدفة» الإنسانية، أي من واقع انتخاب المراقب، سيكون على قوى الفيزياء نفسها أن تتباين من منطقة كونية إلى أخرى. هل يمكن ذلك؟ وإن كان ممكنًا فكيف يحدث؟

يمكننا الحصول على بعض الرؤى عن هذا الموضوع من التاريخ، فبعد أن أرسى كوبرنيكوس مبدأ دوران الكواكب حول الشمس حاول كبلر وآخرون التوصل إلى العلاقات العددية الموجودة في النظام الشمسي. في تلك الأيام كانت ستة كواكب وحسب هي المعروفة، وكانت المسافات بينها وبين الشمس مقاسة بدقة معقولة. كان من الطبيعي التساؤل، لماذا ستة كواكب؟ ولماذا تقع على هذه المسافات؟ هل يوجد مبدأ عميق للطبيعة، كنظام رياضي أشبه بالقانون، يمكن أن يمدنا بالأرقام المرصودة؟ توصل كبلر إلى فكرة عبقرية مبنية على الأشكال الهندسية القديمة؛ إذ تخيل أن مدارات الكواكب مرتبطة بكرة تقع داخل شكل مثالي متعدد السطوح، بحيث تكون مدمجة بعضها في بعض، متبعًا في ذلك تقليد فيثاغورث، الذي حاول قبله بألفي عام تفسير الكون من خلال التناغم الموسيقي والهندسي. بعد ذلك، في القرن الثامن عشر، نشر عالم الفلك الألماني يوهان بودي معادلة رياضية بسيطة (تعرف باسم قانون بودي) يمكن بها حساب المسافة بين أي من الكواكب الستة والشمس، إضافة إلى كوكب آخر «مفقود»، في المكان الذي اكتُشف فيه لاحقًا حزام الكويكبات.

أما اليوم فإن محاولات حصر النظام الشمسي في نمط رياضي أنيق تبدو سخيفة، واكتُشف أن التوافق السطحي بين معادلة بودي ومسافات الكواكب المقاسة ليس إلا مصادفة. نحن نعرف الآن أن تكون الكواكب هو بالأساس حدث تاريخي، فالكواكب تكونت من سدم دوامة من الغازات والغبار المحيطة بالشمس في بداية حياتها. في البداية كانت المجموعة الشمسية تحتوي على أكثر من التسعة

كواكب المعروفة اليوم، لكن بعضها ارتطم واندمج بعضه ببعض، والبعض الآخر طار بعيدًا خارج النظام الشمسي. وقد تغيرت جميع مدارات الكواكب بشكل ما على مدار الـ ٤,٥ مليار عام التي انقضت منذ تكون النظام الشمسي. المغزى هنا هو أن ما انتهينا إليه من نظام جاء محصلة ظروف فوضوية؛ كمية المادة الموجودة في السديم الشمسي، والقوى المعقدة التي جعلت الكواكب تتكون على الشكل الذي هي عليه الآن، والاضطرابات الآتية من النجوم وسحب الغازات القريبة. من الواضح أنه لا يوجد شيء «جوهري» بشأن الكواكب وبُعدها عن الشمس؛ فهذه الملامح «تصادفية» بالكامل. نحن الآن نعرف نظمًا أخرى من الكواكب، التي تدور حول نجوم أخرى لها ترتيبات دوران مختلفة بشكل كلي عما لدينا. ومن ثم فإن ما كان يُظن ذات يوم بأنه قانون أساسي من قوانين الطبيعة، اتضح أنه ليس أكثر من مصادفة تاريخية، رغم أهميته الشديدة لنا (فإذا لم يكن للأرض نفس المدار التي تدور فيه لكانت غير قابلة لاستضافة الحياة).

بالنظر لهذا الدرس المأخوذ من النظام الشمسي، من المنطقي التساؤل عما إذا كانت الملامح الأخرى للعالم التي نعتبرها أشبه بالقوانين الراسخة قد يتضح أنها مجرد مصادفات تاريخية. هل يمكن أن تكون بعض أوجه النظام في الطبيعة التي نبجلها بوصفها «قوانين للفيزياء» هي في حقيقتها آثار متخلفة عن عملية تكون الكون؟ إذا كان الحال كذلك فسيبدو من المنطقي الافتراض بأن مناطق أخرى من الكون، أو أكوانًا جيبية أخرى، لها قوانين مختلفة بنفس الصورة التي تملك بها نظم نجمية أخرى ترتيبات كوكبية مختلفة.

(٣) «ثوابت» الطبيعة، على الأقل، قد تتباين

دعني أوضح لك باختصار نقطة مهمة: لقوانين الفيزياء جانبان يمكن، بشكل نظري، أن يتغيرا عما هما عليه من كون إلى آخر؛ أولًا: هناك الصيغة الرياضية للقانون، وثانيًا: هناك «الثوابت» المتعددة التي تحتوي عليها معادلات القانون. مثال على ذلك قانون التربيع العكسي للجاذبية لنيوتن؛ فالصيغة الرياضية تربط قوة الجذب بين أي جسمين بالمسافة بينهما. لكن المعادلة تستخدم أيضًا ثابت الجاذبية لنيوتن G؛ فهو الذي يحدد مقدار القوة الفعلي (انظر الإطارين ١ و٦). مثال آخر هو معادلة ديراك للإلكترون. للمعادلة صيغة رياضية محددة، تصف

كيف يتحرك الإلكترون بشكل يتفق مع كل من ميكانيكا الكم والنسبية. لكن المعادلة تحتوي أيضًا على ثلاثة ثوابت هي: سرعة الضوء وكتلة الإلكترون وثابت بلانك. عند التفكير فيما إذا كان من الممكن لقوانين الفيزياء أن تتباين في منطقة كونية أخرى، يمكننا أن نتصور احتمالين. الأول هو بقاء الصيغة الرياضية للقانون دون تغيير، لكن مع تعيين قيمة مختلفة لواحد أو أكثر من الثوابت.[2] والثاني، الأكثر تطرفًا، هو أن صيغة القانون نفسها تتباين. في هذا القسم سأقتصر في الحديث على الاحتمال الأول.

للنموذج المعياري لفيزياء الجسيمات أكثر من عشرين من المتغيرات غير محددة القيمة. هناك أرقام محورية مثل كتل الجسيمات وشدة القوى لا يمكن للنموذج المعياري التنبؤ بها بنفسه، بل يجب أن تقاس من واقع التجارب العملية ثم تضاف بعد ذلك إلى النظرية. لا يعرف أحد هل القيم المقاسة لهذه المتغيرات قد تُفسَّر ذات يوم عن طريق نظرية موحدة أعمق تتجاوز النموذج المعياري، أو هل هي في حقيقتها متغيرات حرة لا تتحدد عن طريق أي قوانين ذات مستوى أعمق. إذا كان التفسير الثاني هو الصحيح فهذا يعني أن هذه الأرقام ليست من المسلمات الثابتة، وأنها يمكن أن تتخذ قيمًا متباينة دون التعارض مع أي من القوانين المادية. بحكم العادة يشير علماء الفيزياء إلى هذه المتغيرات باسم «ثوابت الطبيعة» (انظر الإطار ٦)؛ لأنها تبدو ثابتة في شتى أرجاء الكون المرصود. ومع ذلك فليس لدينا فكرة عن السبب وراء ثباتها، وأيضًا (بناءً على مستوى معرفتنا الحالي) ليس لدينا مبرر للاعتقاد بأنها، على مستوى من الحجم أكبر بكثير من مستوى الكون المرصود، ثابتة من الأساس. فإذا كان بإمكانها أن تأخذ قيمًا متباينة فسيثار إذن التساؤل: ماذا يحدد القيم التي تحملها في منطقتنا الكونية؟

تأتينا إجابة محتملة من علم كونيات الانفجار العظيم، فوفق النظرية المتعارف عليها ولد الكون وقيم هذه الثوابت محددة داخله تحديدًا نهائيًّا، منذ لحظة البداية. لكن بعض الفيزيائيين يقترحون الآن أن القيم المرصودة ربما تولدت نتيجة عمليات فيزيائية معقدة من نوع ما وقعت إبان الاضطراب المتقد الذي ساد في الكون المبكر للغاية. إذا كانت هذه الفكرة صحيحة بشكل عام فسيستتبع ذلك إمكانية أن تكون العمليات الفيزيائية المسئولة قد ولدت قيمًا «مختلفة» عن تلك التي نرصدها، وربما ولدت قيمًا مختلفة بالفعل في مناطق أخرى من الفضاء، أو في أكوان أخرى. إذا تمكنا بشكل سحري من الانتقال من منطقتنا الكونية إلى منطقة أخرى تقع على

بعد تريليون سنة ضوئية وراء أفقنا، فقد نجد، مثلًا، أن كتلة أو شحنة الإلكترون لها قيمة مختلفة. ولن يكون بالإمكان ظهور أي مراقبين أحياء ليكتشفوا الكون الملائم للحياة إلا في المناطق التي تكون فيها شحنة الإلكترون وكتلته مساويتين لتلك الموجودة في منطقتنا. وبهذه الصورة يمكن أن نفسر، بشكل أنيق، الضبط الدقيق لمتغيرات النموذج المعياري بحيث تلائم الحياة على أنه تأثير انتخاب للمراقبين.

(٤) أصل المادة، ولماذا قد تتباين

حين كنت أدرس أُعطيت جدولًا بكتل الجسيمات دون الذرية المختلفة وقيل لي: «هذا ما هي عليه.» وكانت التساؤلات عن السبب وراء هذه الأرقام، ولماذا لا تكون الأرقام مختلفة تعتبر محض هراء. لكن اليوم من المقبول المطالبة بنوع من التفسير لهذه الكتل. في الحقيقة لدينا مثل هذا التفسير، ويطلق عليه آلية هيجز. تحدثت عن هذه الآلية عرضًا في الفصل الرابع أثناء حديثي عن نظرية القوة الكهروضعيفة، وهي جزء أساسي من النموذج المعياري. باختصار، تسير آلية هيجز على النحو التالي: ليست للإلكترونات والكواركات كتلة ذاتية، بل تكتسب كتلتها بالتفاعل مع مجال غير مرئي يتغلغل في الفضاء، أشبه بالأثير لدى القدماء. إن مجال هيجز هو ما يعطي هذه الجسيمات كتلتها. ويعتمد مقدار الكتلة التي يحملها الجسيم في نهاية المطاف على المدى الذي يستشعر به الجسيم مجال هيجز، أي مقدار القوة التي «يقترن» بها الجسيم بالمجال، إذا استخدمنا المصطلح العلمي السليم. لا يتفاعل الفوتون مع مجال هيجز، بشكل أقوى بكثير من الإلكترون؛ إذ إن الكوارك العلوي هو أكثر ما يستشعره، وينتهي به الحال بكتلة أكبر بمئات الآلاف من المرات عن الإلكترون. تكتسب الجسيمات W وZ أيضًا، التي توصل القوة الضعيفة، كتلتها الضخمة عن طريق الاقتران بمجال هيجز.[3]

أغلب الفيزيائيين النظريين مقتنعون بأن مجال هيجز موجود بالفعل، رغم عدم قدرتنا على إدراكه إدراكًا مباشرًا. وقد انصبت آمالهم في العثور على دليل إثبات على مصادم الهدرونات الكبير؛ المعجل الضخم الذي يجري بناؤه حاليًّا في سيرن. تقضي الخطة بأن يستخدم المصادم تصادمات البروتون ومضاد البروتون عالية الطاقة لتكوين جسيم هيجز بحلول عام ٢٠١٠. من المفترض أن يكون لمجال هيجز جسيم كمي، كما هو الحال مع المجال الكهرومغناطيسي الذي يرتبط

به جسيم كمي على صورة فوتون، وهذا يسمى بوزون هيجز.[4] لكن في الوقت الذي لا يحمل فيه الفوتون أي كتلة، فإن بوزون هيجز يُتنبأ له بأن يحمل كتلة ضخمة، أعظم من كتلة ١٨٠ بروتون، ولهذا السبب استحال تخليقه في التجارب قبل هذا. (يكتسب جسيم هيجز كتلته الضخمة للغاية بالتفاعل مع مجاله الخاص.)

في الوقت ذاته، بالعودة إلى الإطار النظري، ما زلت بحاجة لتفسير كيف قد تتباين كتل الجسيمات من منطقة كونية إلى أخرى. من الطرق الواضحة لذلك هو أن تتغير قوة مجال هيجز من منطقة لأخرى. هناك أسباب تجعل حدوث ذلك ممكنًا، وقد نُشر العديد من النماذج الرياضية التي تربط مجال هيجز بجوانب أخرى للفيزياء بحيث تحقق هذا التباين، لكني لا أود الدخول في تفاصيل فنية الآن. أريد فقط أن أؤكد على الفكرة العامة التي تقضي بأنه لو اختلف مجال هيجز من مكان لآخر فستتباين كتل الإلكترون والكواركات بالتبعية. هنا سيكون للإلكترون كتلة نطلق عليها الاختصار ك، وهناك سيكون له كتلة سنسميها ك′. إضافة إلى ذلك ستتباين نسبة كتلة البروتون إلى الإلكترون هي الأخرى، فرغم أن كتلتي الإلكترون والكوارك ستختلفان بشكل ثابت، فإن البروتون تجميعة من ثلاثة كواركات متحركة؛ أي حزمة صغيرة تحتوي على قدر كبير من الطاقة الحركية والكهربية وطاقة الجلوون أيضًا. في الواقع، القدر الأعظم من كتلة البروتون يكون على صورة هذه الطاقة الإضافية. وهذه التجميعة لن تستطيع مواكبة التباين في كتلة الإلكترون والكوارك. لذا، على سبيل المثال، إذا تضاعف مجال هيجز في القوة فستتضاعف كتلة الإلكترون، لكن البروتون سيصير أثقل بقدر بسيط. بناء على ذلك ستتغير النسبة بين كتلتي البروتون والإلكترون، وإذا تغيرت بما يكفي فقد تطيح بذلك التوازن المرهف المشجع على الحياة وذلك بأن تغير، مثلًا، من التفاعلات النووية في الكون المبكر وداخل النجوم.

(٥) انكسار التناظر يفسر كيف يمكن للقوانين البسيطة أن تنتج عالمًا معقدًا

هناك سبب عام يجعلنا نتوقع وجود اختلافات في بعض المتغيرات، أو «الثوابت»، الأساسية للفيزياء، وهو يسمى «انكسار التناظر». إليك مثالًا بسيطًا على هذا الأمر: من أشهر أيقونات العلم الحديث اللولب المزدوج، ذلك الشكل الحلزوني لجزيء

الحمض النووي، الذي اشتهر من خلال كتاب جيمس واطسون الشهير الذي حقق أعلى المبيعات.[5] يحتوي الحمض النووي الموجود في خلاياك على البصمة الوراثية، الجينوم، الذي يمنحك هويتك المتفردة. جميع جزيئات الحمض النووي — ليس فقط لدى البشر بل في جميع أشكال الحياة المعروفة أيضًا — موجودة على هذا الشكل اللولبي. بشكل أكثر تحديدًا، كلها على شكل اللولب الملتف إلى اليمين. أحيانًا ما تلتف السلالم الحلزونية لبعض القلاع القديمة جهة اليسار أثناء صعودك عليها، وأحيانًا إلى اليمين، لكن جزيء الحمض النووي يتجه دومًا إلى اليمين.

لا يوجد سبب جوهري يمنع الحياة من استخدام الحمض النووي الملتف جهة اليسار. سيكون متماثلًا من الناحية الكيميائية ومستقرًا، ولن يخرق أيًّا من قوانين الفيزياء؛ سبب هذا هو أن قوانين الكهرومغناطيسية — المسئولة عن بناء الجزيئات — لا تكترث إطلاقًا للفارق بين اليمين واليسار. للتعبير عن الأمر بشكل أكثر دقة يقول الفيزيائيون إن الكهرومغناطيسية لها تناظر معكوس. بالطبع سيسود الحياة اضطراب عظيم لو استُخدم الشكل الملتف جهة اليمين وذلك الملتف جهة اليسار في الوقت ذاته، لكن لا يوجد سبب يجعل من الشكل الملتف جهة اليمين هو الشكل الصحيح. أفضل تخمين هو أنه منذ وقت طويل بينما كانت الحياة تتشكل (بصورة ما) من الجماد، كسر حادث جزيئي عشوائي التناظر، وفور وقوع الاختيار بشكل عشوائي على أحد الشكلين، تجمد الوضع على هذا الحال. كان لا بد أن يتجمد حتى تستطيع الحياة بكل أشكالها استخدام معيار مشترك، ومع ذلك هناك احتمال قدره ٥٠ بالمائة أن الأمر كان يمكن أن يسير على نحو معكوس.[6]

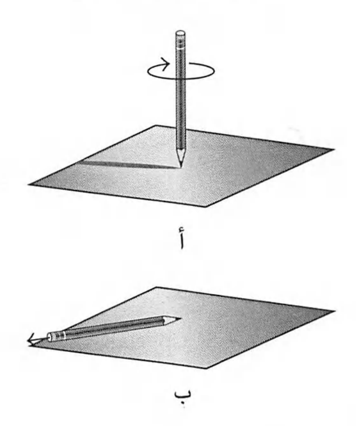
شأن الحمض النووي لا تفصح نظم فيزيائية كثيرة عن التناظرات الأساسية للقوى المشكلة لها. ليس من العسير العثور على أمثلة. عند النظر إلى الأرض من أعلى نصفها الشمالي نجد أنها تدور حول الشمس عكس اتجاه عقارب الساعة، لكن قوانين نيوتن للحركة والجاذبية لا تكترث إطلاقًا بأن يكون الدوران مع أو عكس اتجاه عقارب الساعة؛ إذ إنها متناظرة. وإذا دارت الأرض في الاتجاه المعاكس فلن تضار قوانين الفيزياء في شيء.

إلا أن بعض الأنظمة الفيزيائية الأخرى تحترم بالفعل التناظر الكامن، على الأقل بشكل تقريبي. على سبيل المثال، الشمس دائرية الشكل تقريبًا، وهو ما يعكس حقيقة أن قوة الجاذبية لا تفرق بين أحد اتجاهات الفضاء واتجاه آخر؛ بالتعبير

عن الأمر بدقة، قوة الجاذبية متناظرة تحت تأثير الدوران. يعتمد احترام النظام الفيزيائي للتناظرات الأساسية في قوانين الفيزياء أو كسرها على مسألة الاستقرار؛ إذ قد يكون التناظر المنكسر هو الحالة الأكثر استقرارًا. يوضح الشكل ٨-١ هذا الأمر: تخيل أنك تمسك بقلم له سن حاد في وضع عمودي بحيث يلمس طرف السن السطح الأفقي. حين تترك القلم سيسقط على السطح الأفقي. لا يوجد أي معنى عميق في الاتجاه النهائي الذي يتبناه القلم؛ فهو عشوائي بالكامل.[7] وإذا أجريت التجربة ألف مرة فستحصل على ألف اتجاه مختلف لسقوط القلم، موزعة بشكل تقريبي حول المركز. سبب ذلك هو أن مجال الجاذبية الرأسي للأرض لا يكترث بالاتجاهات الأفقية؛ فأي اتجاه مثل غيره. بشكل أكثر دقة، إن مجال الجاذبية متناظر عند الدوران حول المحور الرأسي، والمحدد من واقع الموضع العمودي الأولي للقلم. لكن الحالة النهائية للقلم، على السطح الأفقي، تكسر هذا التناظر الدوراني باختيار اتجاه أفقي «معين». إن الحالة المتوافقة مع التناظر الأساسي لقوانين الفيزياء (القلم في الوضع العمودي) غير مستقرة، لذا يكسر القلم هذا التناظر وينقلب (في الوضع الأفقي) إلى حالة مستقرة لكن لا تجسد التناظر. وبهذا يتخلى القلم عن التناظر في مقابل الاستقرار. لا يزال التناظر موجودًا في القوانين الأساسية، لكن لا يمكن تبينه من حالة واحدة. فقط من خلال دراسة مجموعة كبيرة من الحالات المتنوعة (آلاف الأقلام) الموزعة بتساوٍ في جميع الاتجاهات الأفقية المتاحة يمكن تجسيد التناظر الدوراني الكامن. يطلق على مبادلة التناظر بالاستقرار هذه «انكسار التناظر التلقائي»؛ لأن النظام يختار بنفسه (بشكل اعتباطي) كيفية كسر التناظر؛ أي إن هذا ليس مفروضًا عليه من جانب مؤثر خارجي.

(٦) يمكن استعادة التناظر والبساطة مع درجات الحرارة الشديدة

الآن نأتي لنقطة حاسمة. كثيرًا ما يمكن «استعادة» حالات التناظر المكسورة (بمعنى إظهار التناظر) من خلال رفع درجة الحرارة. فكر في جزيئات الحمض النووي. في درجة حرارة أعلى من ١٠٠ درجة مئوية يتهدد استقرارها بفعل الحرارة، وتبدأ في الانصهار. وإذا أوصلت درجة الحرارة لمائتي درجة مئوية فسيتحلل الحمض النووي بالكامل، وستختفي بنية اللولب المزدوج تمامًا. ستتطاير مكوناته بشكل عشوائي، ويختفي أي مظهر لبنيته الملتفة جهة اليمين



شكل ٨-١: **انكسار التناظر التلقائي.** (أ) القلم في وضع عمودي على السن في حالة تناظر؛ أي يبدو بنفس الشكل لو دار حول محوره الرأسي كما هو مبين. في هذه الحالة يظهر القلم التناظر الكامن لمجال الجاذبية، الذي لا يكترث للاتجاه الأفقي. إلا أن حالة التناظر هذه غير مستقرة، وسيسقط القلم. (ب) في الحالة الأفقية، القلم مستقر، لكنه كسر تناظر مجال الجاذبية باختيار اتجاه أفقي معين، والموضح بالسهم. الاتجاه الفعلي عشوائي؛ فإذا أجريت التجربة عدة مرات فستتوزع اتجاهات القلم بشكل عشوائي حول نقطة السقوط، وستكشف مجموعة السقطات عن التناظر الكامن، حتى وإن كانت كل حالة فردية تكسره.

تمامًا. تظهر المكونات المتطايرة المتجولة بفوضوية التناظر الكهرومغناطيسي الأساسي بكل وضوح، وذلك بصورة لم يظهرها جزيء الحمض النووي المجمع. إن انكسار التناظر يذوب حرفيًّا مع رفع درجة الحرارة.

القاعدة العامة تسري كالتالي:

تظهر النظم مرتفعة الحرارة تناظرًا أكبر من النظم منخفضة الحرارة. وحين تنخفض درجة الحرارة ينكسر التناظر.

سنرى بعد قليل مدى أهمية هذه القاعدة لفهمنا لطبيعة الكون، لكن أولًا أود توضيحها بمثال قريب من فيزياء المدارس الثانوية؛ لأنه كلاسيكي بعض الشيء: كان بيير كوري، زوج الكيميائية الشهيرة ماري كوري، أول من عبر عن هذا الأمر، وهو يخص المغناطيس. كان معروفًا لوقت طويل أن المجال المغناطيسي، لنقل، لقطعة حديد ممغنطة يضعف مع تسخينها. وعند الوصول لدرجة حرارة معينة — يطلق

عليها حرارة كوري — يختفي المجال المغناطيسي خارج قطعة الحديد تمامًا (تبلغ درجة الحرارة هذه ٧٧٠ درجة مئوية). من السهل فهم السبب؛ تملك ذرات الحديد مجالاتها المغناطيسية بفضل إلكتروناتها سريعة الحركة، ولأسباب تتعلق بمبدأ استبعاد باولي تحب الذرات أن تصطف مجالاتها بشكل متوازٍ كي تشكل نطاقات مغناطيسية ميكروسكوبية. في قطعة المغناطيس تصطف النطاقات أيضًا بشكل متوازٍ، ومن ثم تتحد مجالاتها المغناطيسية بصورة منظمة. لكن مع رفع درجة الحرارة تبدأ المجالات المغناطيسية الدقيقة في التخبط، محاولة التحرر من الترتيب المغناطيسي الصارم. مع ارتفاع درجة الحرارة وزيادة حركة الإلكترونات الجنونية تميل كفة الصراع لمصلحة التحرر. وفي النهاية نصل لنقطة حرجة تهيمن فيها الفوضى وتصير كل المجالات المغناطيسية الصغيرة مستقلة بعضها عن بعض. في ظل هذه الظروف يكون اتجاهها عشوائيًّا؛ فلا تصطف بشكل منظم في أي اتجاه. لذا، رغم أن الحديد الساخن مكون من ذرات ممغنطة، فإن المجال المغناطيسي الإجمالي له يساوي صفرًا. وإذا برد الحديد «ببطء» مرورًا بدرجة حرارة كوري يمكن استعادة المغناطيسية. وقتها تهتدي النطاقات بأي مجال مغناطيسي خارجي قد يكون موجودًا، كمجال الأرض المغناطيسي، وتصطف في هذا الاتجاه. لكن إذا بردت بسرعة تتجمد النطاقات في اتجاهاتها العشوائية. وداخل كل نطاق يكون للمغناطيسية اتجاه ثابت، لكن قطعة المغناطيس ككل، رغم أنها مصنوعة من مادة ممغنطة، ليس لها مغناطيسية كلية.

يلعب التناظر دورًا واضحًا في هذه القصة؛ فقوانين الكهرومغناطيسية تتسم بالتناظر عند الدوران (أي لا تكترث بالاتجاه في الفضاء). وتتوافق الحالة المغناطيسية لقطعة الحديد الساخنة مع هذا التناظر؛ إذ لا تشير إلى اتجاه محدد لأن صافي قوة المجال المغناطيسي لها يساوي صفرًا. لكن تحت درجة حرارة كوري تستقر المجالات المغناطيسية؛ لأن كل مكون مغناطيسي صغير يثبت على اتجاه معين. أثناء عمل ذلك يكسر كل واحد منها التناظر الدوراني لقوانين الكهرومغناطيسية، الذي يتحكم في سلوك النظام. لكن إذا بردت قطعة الحديد بسرعة، مجمدة النطاقات ذات الاتجاهات العشوائية، فسيظل وقتها التناظر الدوراني موجودًا على المستوى العام؛ لأن قطعة الحديد ليست ممغنطة بانتظام في أي اتجاه محدد.

لا يمكن أن تعرف بالنظر هل قطعة الحديد ممغنطة أم لا، لكن هناك مثالًا آخر يكون فيه انكسار التناظر واضحًا بمجرد النظر، وذلك حين يتجمد الماء على

صورة جليد. يتحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة مع هبوط درجة حرارته إلى الصفر المئوي. مجددًا، ينكسر هنا التناظر الدوراني؛ فالماء السائل يبدو بنفس الشكل من جميع الاتجاهات، في حين بلورات الجليد تكون أشكالًا هندسية منتظمة ذات اتجاهات محددة. يشير الفيزيائيون إلى التغير المباغت من هذا النوع باسم «التحول الطوري» Phase Transition.

من الطرق الجيدة للتفكير في التناظر النظر إليه من ناحيتي البنية والتعقيد، فكلما زاد التناظر في النظام كان أكثر بساطة وأقل تركيبًا؛ قارن مثلًا شكل الدائرة المنتظم بأي شكل متعدد الأضلاع غير منتظم. يعمل رفع حرارة النظام على تقليل تركيبه والتخلص من التعقيد؛ فكر إلى أي مدى يتسم كوب الماء بالبساطة في مقابل قدح مليء بمكعبات الثلج. أو تخيل وضع كوكب الأرض في فرن كوني ورفع الحرارة. في البداية ستذوب الأنهار والجبال الجليدية، ثم ستحترق الغابات وتغلي المحيطات، وفي النهاية تنصهر الجبال. ومع الحرارة الكافية سيتبخر الكوكب بأكمله. إن الفرن العملاق المليء بالبخار أبسط — وبه تناظر أعلى — من البنية المعقدة لكوكب الأرض. المبدأ العام كما يلي: الحرارة = بساطة، البرودة = غنى.

(٧) انكسار التناظر بعد الانفجار العظيم مباشرة

لنعد الآن لعلم الكونيات. لم يشهد الكون حرارة تضاهي تلك الخاصة بالانفجار العظيم؛ إذ كان الكون المبكر حارًّا حتى إن كل شيء نعرفه كان في حالة انصهار (أو بالأحرى تَبَخُّر). كان كل الغنى والتنوع والتعقيد الذي عليه الكون اليوم يقع في المستقبل البعيد؛ إذ كانت الحالة السائدة وقتها هي التطابق التام. هكذا بدأ الكون بدرجة عالية من التناظر، لكن مع البرودة بدأ المزيد والمزيد من أوجه التناظر في الانكسار، وبدأ المزيد والمزيد من البُنى المعقدة في الظهور، وأغلبها اتسم بالتلقائية والعشوائية. هذه التحولات حدثت عبر مجموعة من التحولات الطورية. إن سبب نجاح نظرية منشأ الكون هي البساطة التامة التي كان الكون عليها، وهذه البساطة البالغة نبعت من الحرارة الهائلة والتناظر التام اللذين غلفا المرحلة الأولية للكون.

من السهل فهم سبب تلك النزعة العامة من البساطة للتعقيد والغنى مع برودة الكون بعد مولده المتقد. لكننا بحاجة للتوغل أكثر من هذا ومواجهة هذا السؤال: هل يمكن أن يمتد المظهر التلقائي لبنية الكون المبكر إلى «ثوابت

الطبيعة»؟ هل من الممكن أن تكون المتغيرات غير المحددة في النموذج المعياري، على غرار كتل الجسيمات وشدة القوى، هي أيضًا تجسيد لحوادث تجمد عشوائية ناجمة عن تحولات طورية لانكسار التناظر؟

لنعد إلى مثال المغناطيس: تخيل أن رجلًا دقيق الحجم موجود في أعماق قطعة الحديد المغنطة، داخل أحد النطاقات المغناطيسية.[8] إنه محاط بمجال مغناطيسي يشير بثبات إلى اتجاه واحد. ذلك المجال المغناطيسي المتغلغل هو جزء من «كون» هذا الرجل، وسلوك جميع الشحنات الكهربية والمغناطيسية المحيطة به تتأثر بهذا المجال. إذا توصل هذا الرجل إلى القوانين الكهرومغناطيسية الموجودة داخل عالمه الصغير فسيكون لزامًا عليه أن يدرج فيها ذلك المجال المغناطيسي المحيط. بالطبع لن تتسم هذه القوانين بالتناظر تحت الدوران؛ لأن المجال يشير إلى اتجاه معين. لكن من واقع نظرتنا الكلية يمكننا أن نرى أن هذا الرجل دقيق الحجم مضلَّل؛ فما يعتبره من قوانين الكون الأساسية؛ القانون الذي يكسر التناظر، نراه نحن بوصفه حادث تجمد، تقتصر خصائصه على هذا النطاق وحسب.

ماذا لو لم يكن لقطعة الحديد مجال مغناطيسي إجمالي، وإنما تتألف وحسب من نطاقات ذات اتجاهات عشوائية؟ عندئذٍ يستطيع رجلنا دقيق الحجم، لو ابتعد لمسافة كافية، أن يعبر إلى نطاق آخر مجاور. سيصاب وقتها بالصدمة لأن المجال المغناطيسي في ذلك «الكون المجاور» سيشير إلى اتجاه مغاير، وسيحتاج إلى مجموعة مختلفة من القوانين. وإذا زار عددًا كافيًا من النطاقات، وخبر الاتجاهات المتباينة للعديد من المجالات القريبة، ربما يقتنع أن قوانين الكهرومغناطيسية في نطاقه لم تكن قوانين أساسية حقيقية، بل كانت تصف حدثًا مجمدًا (اتجاه المجال) كسر تناظرًا كامنًا مهمًّا (التناظر الدوراني). وسيخلص إلى أن ما اعتبره قانونًا أساسيًّا هو في الواقع قانون «ثانوي» ليس إلا؛ يكمن أسفله قانون أساسي حقيقي للكهرومغناطيسية، يتسم بالتناظر الدوراني. وإذا كان يعرف ما يكفي من الفيزياء فربما يستطيع التوصل إلى: أنه لو أن الكون الذي يقطنه والنطاقات الأخرى المجاورة سُخنت لدرجة حرارة تتجاوز درجة كوري، فإن انكسار التناظر هذا سيذوب، وستندمج النطاقات، ويكشف التناظر الكامل لقانون الكهرومغناطيسية الحقيقي الكامن عن نفسه في كل مكان.

هذه القصة صورة بلاغية قوية تصف علم كونيات الكون المبكر؛ فهي تقترح أنه حين يتضمن أحد القوانين كسرًا لنوع من التناظر، فقد لا يكون هذا القانون

في حقيقته إلا قانونًا «ثانويًّا» من قوانين درجات الحرارة المنخفضة، أو الطاقة المنخفضة؛ لا ينطبق فقط إلا في نطاقات كونية بعينها ويكون مختلفًا في النطاقات الكونية الأخرى. ومثل الرجل دقيق الحجم القاطن في المغناطيس قد يكون لدينا نحن أيضًا «كون مجاور»، ينكسر فيه التناظر انكسارًا مختلفًا، وتكون فيزياء الطاقة المنخفضة المنبثقة منه مختلفة هي الأخرى. لكن بالعودة إلى المرحلة الأولية مرتفعة الحرارة التي أعقبت الانفجار العظيم، سيعبر التناظر عن نفسه في كل مكان، وسيستحيل التفريق بين النطاقات الكونية المتباينة. ومن المتوقع عندما يبرد أي نطاق بعد الانفجار الكبير ويحدث فيه انكسار للتناظر أن يتخذ هذا النطاق بنية مميزة. وإذا كان انكسار التناظر يحدد واحدًا أو أكثر من المتغيرات التي يجب ضبطها بدقة للسماح بظهور الحياة، عندها يكون لدينا تفسير جاهز للغز جولديلوكس. وفقط في النطاقات التي تكون فيها قوانين الحرارة المنخفضة والطاقة المنخفضة مساعدة على الحياة، من واقع الصدفة البحتة، سيصير من الممكن وجود المراقبين.[9]

(٨) التناظرات المجردة ضرورية في الفيزياء

من السهل تفهم ما شعر به رجلنا دقيق الحجم الموجود داخل قطعة المغناطيس؛ لأن التناظر في هذا المثال — التناظر الدوراني — مألوف في الحياة العادية. لكن التناظر الذي من شأنه أن يؤدي لوجود بنية النطاقات الكونية مختلف. إنه، في الواقع، تناظر «مجرد»، وليس هندسيًّا. دعني أوضح ذلك من خلال أحد الأمثلة من عالم الاقتصاد: الأمر هنا يدور عن التضخم، لكن التضخم المالي وليس ذلك الكوني. يُعرف عن التضخم أنه يقلل من القدرة الشرائية للأموال، مع ذلك فإن القيمة «الجوهرية» للبضائع والخدمات لا تتأثر به. في أيام ثبات أسعار الصرف، أحيانًا ما تلجأ الحكومات لإعادة تقييم أسعار عملاتها بالمقارنة بالعملات الأخرى. إلا أن هذا لا يؤثر على قيمة الأموال داخل الدولة التي تقوم بهذا، وهكذا يكون لدينا نوع من التناظر هنا؛ فقيمة المنتجات والخدمات المحلية لا تتغير بتغير سعر صرف العملة. في عام ١٩٦٧ خفض رئيس الوزراء البريطاني هارولد ويلسون قيمة الجنيه الإسترليني مقابل الدولار الأمريكي، وتعرض للانتقاد بسبب تصريحه الذي أكد فيه أن هذا التعديل لن يؤثر على «الجنيه الموجود في جيب أي شخص».

لكنه كان محقًّا من ناحية أن القيم النسبية للمنتجات والخدمات والأموال داخل المملكة المتحدة لم تتأثر بالفعل. لكن بالطبع كانت المشكلة تكمن في أن المنتجات المستوردة هي التي ارتفعت أسعارها، وهو ما جعل حال الناس إجمالًا أسوأ. يحدث نوع مشابه من التغير حين يزول التضخم، ويكون لزامًا التعبير عن الأسعار بأرقام كبيرة لدرجة السخافة. في بعض الأحيان تعيد الحكومات ضبط ميزان العملة بشكل إجمالي، كما حدث حين قدم الفرنسيون «الفرنك الجديد» عام ١٩٦٠. كان الفرنك الجديد يساوي مائة من الفرنكات القديمة، لكن القيمة الفعلية للمنتجات والخدمات ظلت دون تغيير.

توجد في الفيزياء أمثلة عديدة على هذا التناظر المجرد، منها الشحنتان الكهربيتان الموجبة والسالبة. هذا التناظر يشبه تناظر اليمين-اليسار السابق ذكره؛ فلو حدث أن حلت جميع الشحنات الكهربية الموجبة محل السالبة والعكس بالعكس، فلن تكترث قوانين الكهرومغناطيسية لهذا التحول. مثال آخر: وفق قوانين نيوتن للميكانيكا فإن الطاقة المطلوبة لرفع ثقل ما من قاعدة مبنى إلى قمته تعتمد على ارتفاع المبنى، لكن ليس على ما إذا اخترنا قياس الارتفاع من مستوى سطح البحر أم من مستوى الأرض (إذ تعتمد الطاقة فقط على «الفارق» في الارتفاع، وليس الارتفاع المطلق). ولن تتأثر الطاقة أيضًا بما إذا استخدمنا المتر كوحدة قياس بدلًا من السنتيمتر، كما حدث في حالة الفرنك الجديد. (في الواقع يعمل التناظر بشكل أكبر مما وصفت لأن الطاقة المبذولة في رفع الثقل لا تعتمد على المسار المحدد الذي تتخذه كذلك؛ فقد تسير في خط مستقيم أو متعرج، كل هذا لا يحدث فارقًا في الجواب.) النوع الأخير من التناظر؛ الذي لا تتغير فيه الكمية مع تغير نظام القياس، يشيع وجوده في الفيزياء ويطلق عليه مصطلح «التناظر القياسي». للمجالات الكهربية تناظر قياسي متشابه؛ إذ يمكن إعادة ضبط الفولتات من خلال طرح أو إضافة عدد ثابت من الفولتات في كل مكان دون التأثير على تغير فارق الطاقة الحادث عند نقل الشحنات الكهربية من مكان لآخر، كما لا يعتمد تغير الطاقة على المسار المُتخذ. وهكذا لا تتأثر قوانين نيوتن وقوانين الطاقة الكهربية بمثل هذه التحولات القياسية، وهذه سمة أساسية في تلك القوانين. وجد علماء الفيزياء أن تعميم مثل هذه التناظرات القياسية يكشف إلى حدٍّ بعيد عن الخصائص الأساسية لقوى الطبيعة الأربع. بل في الواقع تُصنَّف القوى بأكبر قدر من الدقة من خلال تعيين تناظراتها، باستخدام فرع من الرياضيات يعرف بنظرية المجموعات.

تقدم لنا القوة الكهروضعيفة واحدًا من الأمثلة الكلاسيكية على الفكرة السابقة. في الفصل الخامس أوضحت كيف توحد نظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة بنجاح، وأنه في درجة الحرارة المناسبة تمتزج هاتان القوتان معًا. تمتزج التناظرات القياسية في هاتين القوتين، لكن ما يؤدي إلى التباين بين هاتين القوتين على مستوى الطاقات المنخفضة هو الانكسار التلقائي لواحد من تلك التناظرات. وفي سياق الانفجار العظيم سارت الأمور على النحو التالي: في درجات حرارة أعلى من ١٠^١٥ (ألف تريليون) درجة، كان التناظر الكامن الموحد متجسدًا. كانت القوة النووية الضعيفة تتمتع بمدى واسع، شأن القوة الكهرومغناطيسية. عندئذٍ، مع انخفاض درجة الحرارة، كانت هناك حالة تحول طوري انكسر فيها التناظر القياسي للقوة النووية الضعيفة بشكل تلقائي، ونتيجة لذلك صارت القوة النووية الضعيفة قصيرة المدى للغاية، وأضعف بكثير من القوة الكهرومغناطيسية. وهذا هو ما نجده في عالم فيزياء الطاقات المنخفضة الذي نعيش فيه الآن. لعدد من السنوات افترض الفيزيائيون أنهم كانوا يتعاملون مع قوتين منفصلتين؛ لأن التناظر الذي يصل بينهما كان منكسرًا. في الواقع طور الفيزيائي إنريكو فيرمي نظرية للقوة النووية الضعيفة مبنية على سوء الفهم هذا، وقد احتوت النظرية على قانون مختلف اختلافًا كبيرًا عن ذلك الموجود في نظرية جلاشو-عبد السلام-واينبرج. لكننا نعرف الآن أن مرحلة انكسار التناظر للقوة النووية الضعيفة لا تعكس أي قانون فيزيائي أساسي، بل هي انعكاس لحالة مجمدة، ونظرية فيرمي ما هي إلا نظرية ثانوية، صالحة فقط في الطاقات المنخفضة.

(٩) آلية هيجز

قد تتساءل عن كيفية انكسار التناظر في القوة النووية الضعيفة. رأينا في الفصل الرابع أن المدى القصير للغاية لهذه القوة يمكن تفسيره من خلال الكتلة الضخمة للغاية للجسيمات W وZ، التي يتم تبادلها لتوصيل هذه القوة، إلى جانب أنني أوضحت، في بداية هذا الفصل، كيف أن الجسيمات دون الذرية يُعتقد أنها تكتسب كتلتها بالتفاعل مع مجال متغلغل يطلق عليه مجال هيجز. حسن، إن مجال هيجز ذاته هو المسئول عن كسر التناظر القياسي للقوة النووية الضعيفة. إليك كيف يسير هذا الأمر: في درجة حرارة أعلى من تلك الخاصة بمرحلة التحول

الطوري، كتلك التي وجدت في الكون المبكر البالغ من العمر واحدًا على تريليون من الثانية، كان مجال هيجز يساوي في متوسطه صفرًا، كمغناطيسية قطعة الحديد الممغنطة في درجة حرارة أعلى من درجة كوري. في ظل مجال هيجز تبلغ قيمته صفرًا، كانت كتلة جميع الجسيمات صفرًا هي الأخرى. كانت جسيمات W وZ عديمة الكتلة، شأن الفوتونات، وهو ما يعني أن كلتا القوتين، النووية الضعيفة والكهرومغناطيسية، كانتا تتمتعان بمدى طويل. مع انخفاض الحرارة واجه مجال هيجز نفس المأزق الذي واجهه القلم الواقف على سنه (انظر الشكل ٨-١)؛ إذ سيكون عليه التخلي عن تناظره للحفاظ على استقراره. يرجع هذا إلى أن مجال هيجز يتفاعل مع نفسه، والطاقة الناتجة عن هذا التزاوج تشبه طاقة الجاذبية للقلم المتوازن. إن مجال هيجز البالغ قيمته صفرًا متناظر، لكن غير مستقر، في حين مجال هيجز الذي لا تبلغ قيمته صفرًا مستقر، لكنه يكسر التناظر. ما الذي سيفعله مجال هيجز؟ نفس ما فعله القلم الساقط؛ ينكسر التناظر، ونتيجة ذلك تقفز قوته من متوسط الصفر إلى قيمة كبيرة للغاية لا تساوي الصفر. استُخدم جزء من «طاقة السقوط» التي تحررت في تكوين الكتل التي أغدقها مجال هيجز على جميع الجسيمات المشاركة. ومع ذلك، يتضح في النسخة الأصلية من نظرية هيجز أنه «مهما تكن الطريقة التي يسقط بها القلم» فإن الجسيمات تكتسب الكتلة «نفسها». لذا، رغم أن مرحلة التحول الطوري للقوة الضعيفة في الكون المبكر ربما تكون قد أنتجت بنية نطاقية من نوع ما، فإنه من غير المرجح أن تكون تلك هي المرحلة التي تباينت فيها الجسيمات في الحجم من نطاق إلى آخر؛ إذ إنه للحصول على مثل هذه النتيجة من الضروري التفكير في طاقات أعلى من هذا.

أوضحت، في الفصل الخامس، محاولات توحيد القوة الكهروضعيفة بالقوة النووية الشديدة، وذلك في إطار نظرية عظمى موحدة من نوع ما. هذه النظريات تتضمن هي الأخرى آليات لكسر التناظر، ومجالات هيجز، والتناظرات المجردة، بيد أنها أكثر تفصيلًا وتعقيدًا. ومع أننا لا نزال في طور التخمين بالأساس، فإن المبادئ الأساسية التي أوضحتها قد تنطبق. لذا قد نتوقع أنه في وقت مبكر عن عمر واحد على تريليون من الثانية، ومن ثم في درجة حرارة أعلى، سيكون التناظر أكثر والتعقيد والبنية أقل. وللعلم، فإن الحرارة التي تفترضها النظريات الموحدة العظمى (التي في ظلها ستُستعاد أي تناظرات مكسورة) تبلغ تريليون التريليون درجة، في حين عمر الكون كان ١٠-٣٦ ثانية (جزء من تريليون التريليون التريليون

جزء من الثانية).[10] مع انخفاض درجة حرارة الكون من هذه الحرارة المستعرة انكسرت تناظرات عديدة في سلسلة من التحولات الطورية، مكونة على الأرجح نطاقات كونية هائلة الحجم. أحد هذه التحولات الطورية كسر التناظر بين المادة والمادة المضادة، وتسبب آخر في كسر التناظر الفائق. وبصرف النظر عن التفاصيل المتشعبة فالخلاصة هي أن كلًّا من الحالات الفيزيائية (أي طبيعة المادة وشكلها) وقوانين الطاقة المنخفضة الأساسية ازدادت تعقيدًا وتشعبًا مع انخفاض حرارة الكون. من منظور لغز جولديلوكس هذا التعقيد نعمة كبيرة؛ لأن البُنى الغنية للنطاقات، التي يتنبأ بها كسر التناظر في النظريات الموحدة، سيكون لها تأثير عظيم على قابلية الكون لاستضافة الحياة. وقد تملك النطاقات، على سبيل المثال، كتل جسيمات ومستويات طاقة مختلفة، ودرجات متباينة من «الامتزاج» بين القوى المختلفة، وهكذا دواليك. لكن هذا يدفع باحتمالية أخرى أكثر إثارة للظهور ...

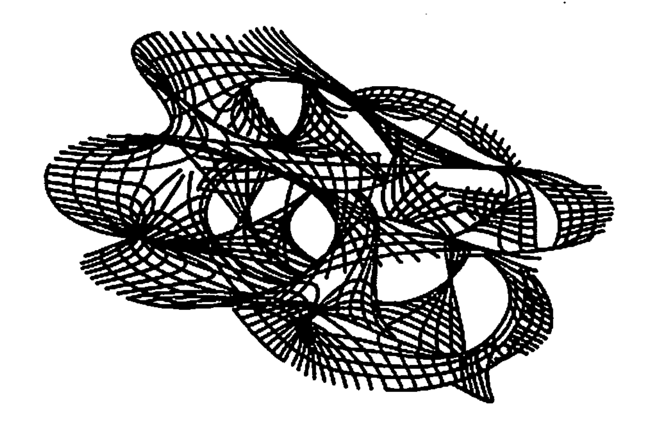
(١٠) قد تكون قوانين الفيزياء قوانين ثانوية موضعية فقط

قد لا تكون الطريقة التي تنكسر بها التناظرات في النظريات الموحدة إلى قوة نووية شديدة وقوة كهروضعيفة شيئًا فريدًا. وقد تكون هناك طرق أخرى لكسر التناظر، لا تؤدي إلى اختلاف نسبي في شدة القوى وحسب، بل إلى ظهور «قوى مختلفة بالكامل»؛ قوى ذات خصائص تختلف تمامًا عن تلك الخاصة بالقوى التي نعرفها. على سبيل المثال، قد توجد قوة نووية شديدة بها اثنا عشر جلوون بدلًا من ثمانية، وقد توجد نكهتان من الشحنة الكهربية ونوعان متمايزان من الفوتونات، أو قد تكون هناك قوى أخرى إلى جانب القوى الأربع التي نعرفها. هكذا تزداد احتمالية وجود بنية نطاقية تكون فيها فيزياء الطاقات المنخفضة في كل نطاق مختلفة اختلافًا كبيرًا، دون أن يقتصر الاختلاف على «الثوابت» مثل كتل الجسيمات وشدة القوى، بل يمتد إلى الصيغة الرياضية للقوانين ذاتها. وبهذا يمكن تشبيه الكون إجمالًا بالولايات المتحدة الأمريكية؛ يتكون من «ولايات» متباينة الأشكال تفصلها حدود واضحة. إن ما اعتبرناه إلى الآن من قوانين الفيزياء العامة، مثل قوانين الكهرومغناطيسية، سيصير أشبه بالقوانين المحلية، أو تلك الخاصة بالولايات، أكثر من كونه قانونًا قوميًّا أو اتحاديًّا. ومن هذا الخليط من المناطق الكونية لن يصلح إلا عدد قليل لاستضافة الحياة.

مع أن النظريات العظمى الموحدة تنظر للكون وكأنه خليط متنوع يحوي عددًا مهولًا من القوانين المختلفة في مختلف النطاقات، فإن هذا التنوع يخفت مقارنة بمفهوم الكون المتعدد الذي تقدمه نظرية الأوتار. لم يعد هناك الآن أي نقص في نطاقات الطاقة المنخفضة المحتملة؛ إذ إن عددها يفوق الحصر. في الواقع تفتح نظرية الأوتار صندوق بندورا حقيقيًّا من الاحتمالات. تنبع الخصوبة المذهلة لهذه النظرية من العدد المهول للطرق التي يمكن بها دمج الأبعاد الإضافية، أو «طيها»، على النحو الذي أوضحته في الفصل الخامس. إن الدمج في نظرية الأوتار هو مكافئ عملية كسر التناظر. على سبيل المثال، يمكن لشكل هندسي بسيط متناظر، كالكرة الكبيرة سداسية الأبعاد، أن يتغضن بشكل تلقائي إلى متاهة معقدة متعددة الأبعاد من الجسور الملتوية والأنفاق المتشعبة. يظهر أحد هذه الأشكال، والمعروض على سطح ثنائي الأبعاد لسهولة التصور، في الشكل ٨-٢. هناك أعداد لا تحصى من هذه التكوينات. السر هنا هو أن قوانين الفيزياء التي تنطبق في الجزء المتبقي (غير المدمج) من الفضاء تعتمد على الشكل المحدد للأبعاد المدمجة. دعني أكرر لك هذه الحقيقة نظرًا لأهميتها البالغة:

> في نظرية الأوتار/النظرية M، تتحدد فيزياء الطاقة المنخفضة للعالم ثلاثي الأبعاد الذي نرصده من خلال الشكل الذي تتخذه الأبعاد الإضافية المدمجة.

إن نوعية الكون الذي نرصده — أشياء مثل طبيعة القوى (على سبيل المثال، أي تناظرات تمتلكها)، ودرجة شدة هذه القوى وامتزاجها، وعدد الجسيمات الأساسية، وأنواعها (من فرميونات وبوزونات)، وخصائصها (من كتلة وشحنة كهربية ولف مغزلي وغيرها)، وطاقة الفراغ (أي الطاقة المظلمة) — كل هذه الأشياء تعتمد على الكيفية التي تُدمج بها الأبعاد الإضافية؛ فإذا دُمجت بصورة ما صار لدينا كون به خمسة فوتونات ونوعان من القوة النووية الشديدة، وإذا دُمجت بصورة مغايرة فسيكون لدينا ثمانية إلكترونات وأربعة جلوونات، وهكذا دواليك.[11] في الواقع، حتى عدد الأبعاد المدمجة ليس ثابتًا؛ فقد توجد عوالم منخفضة الطاقة تندمج فيها خمسة أبعاد وحسب، مخلفة فضاء من أربعة أبعاد (مرئية) كبيرة. أو قد تندمج سبعة أبعاد مخلفة بُعدين كبيرين وحسب.



شكل ٨-٢: شكل الأبعاد غير المرئية. يوضح هذا الشكل المعقد ثنائي الأبعاد واحدًا من الاحتمالات اللانهائية التي يمكن فيها لأبعاد الفضاء الستة المتبقية أن «تُدمج»، وذلك وفق ما تطرحه نظرية الأوتار. وفق هذه النظرية يحدد شكل الدمج صيغة القوانين الفيزيائية في الثلاثة أبعاد (الكبيرة) المتبقية للفضاء. (بإذن من جان فرانسوا كولونا.)

(١١) المشهد الطبيعي وفق نظرية الأوتار

من التحديات التي تقابل أصحاب نظرية الأوتار تحديد عدد الأشكال المختلفة التي يمكن لعملية الدمج أن تتمخض عنها؛ أي عدد العوالم منخفضة الطاقة التي يمكن أن تتنبأ بها النظرية. والجواب هو: عدد مهول (قد يكون لانهائيًّا). في الواقع، من العسير حتى الحصول على تقدير؛ لأن رياضيات عملية الدمج ليست مفهومة بالكامل بعد. أضف إلى ذلك أن علينا أن نضع في الحسبان جميع أنواع المتغيرات، مثل الكيفية التي تتشابك بها حلقات الأوتار في طوبولوجيا المكان، والعديد من تناظرات الأوتار المجردة، وغيرها من التنقيحات. على أي حال، وفق بعض التقديرات،[12] يصل الرقم الإجمالي إلى أكثر من ١٠^٥٠٠، هذا يعني واحدًا إلى جواره خمسمائة صفر! بالمقارنة يقدر إجمالي عدد الذرات في الكون القابل للرصد بما لا يزيد عن ١٠^٨٠. وبهذا يصير العدد المحتمل للأكوان منخفضة الطاقة وفق نظرية الأوتار أكبر بمراحل من عدد الذرات التي يحويها الكون.

يمكن تصور هذه الخصوبة الكونية المحيرة للعقل على شكل «مشهد طبيعي عام» من الأكوان منخفضة الطاقة، وهي فكرة مفيدة ابتكرها ليونارد ساسكيند. (هذا ليس مشهدًا طبيعيًّا حقيقيًّا، بل «مشهد عام» مجرد متعدد الأبعاد من

الاحتمالات.) تخيل بقعة شاسعة من الأرض الشاسعة معقدة التضاريس، مليئة بالتلال والوديان. كل نقطة في هذا المشهد تمثل كونًا محتملًا له قوانين الفيزياء الخاصة به. بعض الوديان في هذا المشهد تمثل الأكوان «المستقرة»، التي سيكون كوننا أحدها. تمثل وديان أخرى أكوانًا أخرى مختلفة لها قوانين مختلفة. بعضها قد يختلف اختلافًا بسيطًا عنا، ويختلف البعض الآخر عنا اختلافًا مهولًا. تقترح نظرية الأوتار عددًا كبيرًا من الأكوان حتى إن الاختلافات بين قوانين الفيزياء بها قد تكون دقيقة للغاية، كما لو كانت متدرجة في حقيقة الأمر. ستكون هناك أكوان متطابقة بشكل تام مع كوننا، باستثناء قيمة خامس كسر عشري لكتلة الإلكترون أو قيمة عاشر كسر عشري لشدة القوة الكهرومغناطيسية. وسيختلف البعض الآخر اختلافًا أكبر قليلًا، فيما سيكون البعض مختلفًا اختلافًا كليًّا عن كوننا، بأنواع جديدة من الجسيمات والقوى غير المعروفة. ولن يعد من قبيل المبالغة لو قلنا إنك تستطيع أن تحلم بأي شكل للكون، وتختار أي نوع من فيزياء الطاقة المنخفضة على هواك (في حدود المعقول)، وسيكون هناك بالفعل كون في مكان ما من هذا العدد المهول الذي لا يمكن تخيله يوافق هذا الوصف.[13]

في حد ذاته، يمثل المشهد الطبيعي العام لساسكيند مجال انتخاب عريض للأكوان المحتملة، بيد أنه لا يتنبأ بأنها موجودة بالفعل. ومع ذلك، هناك آلية طبيعية لـ «تسكين» هذا المشهد بأكوان «موجودة بالفعل». هذه الآلية، والموصوفة في الفصل الثالث، هي التضخم الأبدي. في هذه النظرية يوجد قالب كلي من الفضاء المتضخم ليس له بداية أو نهاية، وداخله توجد «فقاعات» توقفت عن التضخم، وهذه تمثل الأكوان الجيبية. وأحد هذه الأكوان هو كوننا. تتكون الأكوان الجيبية طوال الوقت؛ إذ «تبزغ» من الفضاء المتضخم بشكل أبدي، مثل فقاعات الندى التي تتجمع حول جزيئات الغبار في الهواء المشبع ببخار الماء. وكل عملية بزوغ تمثل بداية لكون جيبي منفصل. وداخل كل كون جيبي منفصل توجد قصة كونية متفردة؛ انفجار عظيم، وبرودة، وكسر للتناظر، وتحول طوري، ثم ظهور لعالم منخفض الطاقة من قوانين الفيزياء.

بدمج التضخم الأبدي مع نظرية الأوتار/النظرية M، يمكننا توجيه هذا السؤال: إذا كانت الأكوان الجيبية تظهر من ذلك المنبت المتضخم، فأين في المشهد الطبيعي للاحتمالات ستبزغ الفقاعات؟ هل ستظهر دومًا في نفس المكان، مؤدية لوجود نفس فيزياء الطاقات المنخفضة، أم هل سيكون المكان مختلفًا كل مرة؟

تقترح النظرية الرأي الثاني. فلأن عمليات البزوغ ذات طبيعة ميكانيكية كمية فسيكون هناك قدر من التفاوت الطبيعي الذي يستحيل تجنبه. إضافة إلى ذلك، حتى داخل الفقاعة نفسها، من الممكن (وإن كان من النادر للغاية) أن تتسبب التفاوتات الكمية في بزوغ فقاعة أخرى ذات طاقة أقل، وأخرى داخلها، وهكذا دواليك، فقاعات داخل فقاعات داخل فقاعات، بحيث تتمدد كل فقاعة خارجية أسرع من التي بداخلها، بما يعطي كل الفقاعات مساحة للتمدد. ولأن التمدد أبدي في هذه النظرية، يوجد وقت غير محدود لميكانيكا الكم كي «تستكشف» المكان كله بهذه الكيفية.[14]

إذا صحت هذه الأفكار فهذا يعني أن الكون المتعدد مليء بعدد لا حصر له من الأكوان الجيبية تتجسد داخلها جميع عوالم الطاقات المنخفضة الممكنة، جميع العوالم البالغ عددها ١٠^٥٠٠، في مكان ما. وبهذا يتحول علم الكونيات إلى علم بيئي، يعتمد فيه جزء أساسي من تفسير ما نرصده في الكون على ملامح البيئة الكونية المحلية. وحسب تعبيرات عالم العقارات، فالأمر كله يتركز في الموقع، ثم الموقع، ثم الموقع.[15]

(١٢) علماء كثيرون يكرهون فكرة الكون المتعدد

رغم ما تتسم به فكرة الكون المتعدد من قبول واسع، ورغم أنها تقدم حلًّا أنيقًا للغز جولديلوكس، فإن لهذه الفكرة عددًا من النقاد من داخل المجتمع العلمي وخارجه؛ فهناك فلاسفة يرون أن الاقتراح بتعدد الأكوان قائم على استخدام مغلوط لنظرية الاحتمالات.[16] أيضًا هناك علماء كثيرون يرفضون فكرة الكون المتعدد نظرًا لكونها قائمة على التخمين وحسب حتى الآن. إلا أن أشد الانتقادات تأتي من صفوف أصحاب نظرية الأوتار أنفسهم؛ إذ إن كثيرًا منهم ينكرون إمكانية وجود مشهد عام من العوالم الضخمة المتعددة. إنهم يتوقعون أن تكشف التطورات المستقبلية عن أن هذا التنوع المحير للعقل ما هو إلا سراب، وأنه حين تُفهم النظرية بشكل تام، فإنها ستقدم توصيفًا فريدًا لعالم واحد؛ عالمنا. لكن إلى الآن لا يوجد دليل يدعم وجهة النظر هذه، لذا يظل هذا الأمر موضوع إيمان. ومع ذلك، ظل الانتقاد الموجه لفكرة الكون المتعدد قاسيًا. وقد استخدم علماء ومعلقون بارزون كلمات على غرار «خيال»، و«سم عقلي»، و«إفلاس فكري» لوصف هذه

الفكرة. بل إن بول شتاينهارد، أستاذ ألبرت أينشتاين في جامعة برينستون، يرى أن الأمر كله مثير للاستهجان حتى إنه لا يسمح لنفسه بالتفكير فيه، وقد عبر عن هذا الرأي بقوله: «إنها فكرة خطيرة لا أجد في نفسي الاستعداد حتى للتفكير فيها.»[17]

ما الذي يكمن خلف هذا الهجوم الشرس عليها؟ من وجهة نظر الفيزيائيين النظريين الذين يجتهدون محاولين صياغة نظرية نهائية موحدة، تأتي فكرة تعدد الأكوان كمهرب رخيص من الأمر. إن تحويل علم الكونيات إلى علم بيئي فوضوي يبدو أمرًا مخيبًا للآمال مقارنة بعظمة التوصل إلى نظرية نهائية موحدة قادرة على تفسير كل شيء. يحلم المنظرون الخالصون بالتوصل إلى الأسباب العميقة، المدعومة بالحسابات الرياضية الأنيقة، التي تفسر لماذا يبدو العالم على النحو الذي يبدو عليه، بكل تفاصيله العديدة. على النقيض من ذلك تخبرنا نظرية تعدد الأكوان أن السبب الوحيد وراء رصدنا لهذا العالم هو أنه قابل للرصد. يعتبر كثير من العلماء أن العشوائية وانتخاب المراقبين تعد تفسيرات قبيحة وفقيرة مقارنة بالنظريات الرياضية البارعة التي تحدد خصائص العالم بدقة كمية وتمزجها في وحدة متجانسة. إنهم يرون أن التفسيرات القائمة على نظرية الكون المتعدد و«المبدأ الإنساني» تقوض جهود برنامج التوحيد ذاته (على سبيل المثال، نظرية الأوتار) وتهدد أساس تمويله. بل إن بعض المنتقدين يرون أن هذه النظرية تعيق عملية تعليم الباحثين الشباب.

من معارضي فكرة الكون المتعدد ديفيد جروس، عالم الفيزياء في جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا والحاصل على جائزة نوبل، الذي ساعد في تطوير الديناميكا الكمية اللونية. جروس شخص متفائل بدرجة كبيرة ويؤمن بأننا في يوم ما سنجمّع نظرية نهائية لكل شيء تفسر لنا جميع متغيرات الفيزياء وعلم الكونيات عن طريق قوانين رياضية مفهومة جيدًا. وصفت من قبل الطريق نحو إيجاد نظرية لكل شيء بأنه عملية توحيد متواصلة للفيزياء، عملية نكتشف فيها أن ما يبدو لنا كقوانين مختلفة مستقلة هي في الحقيقة قوانين مترابطة على مستوى مفاهيمي أعمق. ومع دخول المزيد والمزيد من جوانب الفيزياء تحت مظلة التوحيد، يصير لدينا متغيرات أقل بحاجة للتحديد وصرامة أقل في صياغة القوانين. ليس من العسير تصور أقصى ما قد تفضي إليه هذه العملية؛ مجموعة مرتبة من المعادلات الرياضية توحد جميع جوانب علم الفيزياء المتشعبة. ربما لو وجدت

لدينا نظرية كهذه لوجدنا أنه لم يتبق أمامنا متغيرات حرة على الإطلاق، وسوف أطلق على هذه النظرية اسم النظرية «الخالية من المتغيرات». وفي هذه الحالة لن يكون من المنطقي تصور وجود عالم تكون فيه القوة النووية الشديدة، مثلًا، أقوى، ويكون فيه الإلكترون أخف؛ لأن قيم هذه الكميات لن تكون قابلة للتعديل بشكل مستقل؛ بل ستكون ثابتة القيمة من واقع النظرية. بالطبع هناك مناصرون متحمسون لنظرية الأوتار/النظرية M يتنبئون بتطور مستقبلي تظهر بموجبه أرقام مثل ١,٨٣٦، نسبة كتلة البروتون إلى كتلة الإلكترون، و١٠^٤٠، نسبة القوة الكهرومغناطيسية إلى قوة الجاذبية، من خضم معادلات رياضية مبهرة. لكن في الوقت الحالي ليس هذا إلا توقعًا مبالغًا فيه. لا يزال الطريق حتى تفسير ولو واحد من هذه الأرقام طويلًا. لكن رغم افتقاد التقدم فإن كثيرين من أنصار هذه النظرية محتفظون بتفاؤلهم. حين واجه جروس في أحد المؤتمرات العالمية المشكلة المتمثلة في أن الوصول لنظرية نهائية مرضية يبدو أمرًا بعيد المنال، رد بثبات، معيدًا صياغة عبارة تشرشل: «إياك ثم إياك ثم إياك أن تستسلم!»

إلا أن مثل هذه النقاشات المستعرة لا تعني أن نظرية الكون المتعدد تعتمد بالأساس على صحة مفهوم المشهد العام في نظرية الأوتار. بالتأكيد يعد مفهوم المشهد العام النسخة الأغنى والأكثر تلقائية، إلا أن نظرية الكون المتعدد في شكلٍ ما هي من الملامح الأساسية لنشأة الكون من الانفجار العظيم، إلى جانب كسر التناظر. إن الكون الذي يبرد بعد حالته الأولية المستعرة من المحتم أن يكوّن بنية نطاقية تكون فيها لكل نطاق سمات مختلفة، بما فيها قوانين الطاقة المنخفضة الثانوية وقيم بعض ثوابت الطبيعة. ومع أن مصطلح «الكون المتعدد» صُك في وقت قريب نسبيًّا، فإن التوقعات بوجود وفرة من النطاقات الكونية استنادًا على النظريات العظمى الموحدة ونظريات الأبعاد الأعلى وغيرها من مساعي التوحيد كانت موجودة لثلاثة عقود. وفي غياب نظرية نهائية متفردة مقنعة يكون الافتراض الأساسي هو أن الكون الذي نرصده ليس إلا جزءًا بسيطًا من تجميعة اعتباطية من الأكوان.

(١٣) لكن هل هذا علم؟ هل يمكن اختبار نظرية الكون المتعدد؟

من الانتقادات التي يُعبَّر عنها علانية دومًا لفكرة الكون المتعدد هي أنها ليست علمًا، وذلك لأنه ليس من الممكن اختبارها بالتجربة أو من واقع الملاحظة. لهذا

الاعتراض وجاهته. فالزعم بأن كوننا مصحوب بعدد لا حصر له من الأكوان الأخرى يبدو من المستحيل التحقق منه. لقد أوضحت بالفعل أنه في نظرية التضخم الأبدي لا يمكننا أن نرصد رصدًا مباشرًا الأكوان الجيبية الأخرى، وذلك لسببين؛ أولهما: هو أنها بعيدة لدرجة لا تصدق، والثاني هو: أنها تتراجع مبتعدة عنا بسرعة تفوق سرعة الضوء بكثير. ومن المنطقي الاعتراض من منطلق أن النظرية المبنية على كيانات لا يمكن من حيث المبدأ رصدها، لا يمكن أن توصف بالنظرية العلمية.

بيد أنه من المقبول اللجوء إلى دليل «غير مباشر» لدعم هذه النظرية. في العلم، أحيانًا ما يثق المرء في أحد التنبؤات التي تخرج بها نظرية ما، حتى في ظل عدم القدرة على اختبار هذا التنبؤ، ما دامت النظرية ككل مدعومة بقدر معقول من الأدلة التجريبية. على سبيل المثال، يمكن تطبيق نظرية النسبية العامة على ما بداخل الثقوب السوداء، وهي مناطق من الفضاء لا يمكننا أن نرصدها من الخارج، حتى بشكل نظري؛ لأنها محاطة بما يعرف بأفق الحدث. إلا أن النسبية العامة خضعت للاختبار بشكل طيب في سياقات أخرى، ولهذا يثق الفيزيائيون في أنهم يستطيعون استخدام النظرية عينها في وصف ما يحدث داخل الثقوب السوداء أيضًا. وإذا أمكن اختبار نظرية الأوتار/النظرية M، أو غيرها من النظريات التي تتنبأ بتعدد العوالم، تجريبيًّا بشكل مرض، فربما يثق المرء في التنبؤ الذي تقدمه النظرية بشأن تعدد العوالم. لكن لسوء الحظ لا يزال من المستبعد اختبار نظرية الأوتار بشكل تجريبي، إلا أن هذا القيد تفرضه حالة التقدم العلمي الحالية وحسب. ولا يوجد سبب جوهري يمنعنا، في المستقبل البعيد، من التوصل إلى نظرية كاملة موحدة واختبارها تجريبيًّا. من هذا المنطلق تقع نظرية الكون المتعدد على الحد الفاصل بين العلم والخيال.

من الممكن أيضًا الحصول على بعض الأدلة غير المباشرة على تعدد الأكوان من خلال دراسة تفاصيل عملية الضبط الدقيق. تسعى نظرية تعدد الأكوان لاستبعاد احتمالية نشوء الكون بمحض الصدفة. من مميزات الصدفة أنه يمكن تحديدها رياضيًّا تحديدًا جيدًا. وقد خضعت قواعد الصدفة وخصائص المتغيرات العشوائية للدراسة الوافية، وبعض سماتها المميزة باتت معروفة. جوهر الآلية الإنسانية هو أن كوننا انتُخب من قبلنا بفضل قابليته لاستضافة الحياة، ومن هذا المنطلق هو كون مميز وفريد بشكل عام. لكن في ظل هذا العدد المذهل من الأكوان (على الأقل في نسخة نظرية الأوتار لتعدد الأكوان) سيظل هناك هامش كبير من الاحتمالات،

بما فيها احتمال وجود عدد كبير من الأكوان المناسبة لاستضافة الحياة لا تختلف عن كوننا إلا بقدر ضئيل. لا يسير الضبط الدقيق بمنطق الأبيض والأسود؛ بل إن كل متغير ذي صلة يتمتع بنطاق من القيم التي تتناسب جميعها مع الحياة. إن الكون الذي تكون فيه القوة الكهرومغناطيسية، مثلًا، أقوى بنسبة واحد بالمائة سيكون على الأرجح ملائمًا للحياة، رغم أنه لو زادت النسبة إلى ٥٠ بالمائة ستكون هناك مشكلات عويصة. وداخل نطاق الأكوان الملائمة لاستضافة الحياة لا يوجد أي سبب يدعونا لاعتبار كوننا عضوًا مميزًا. هكذا تتنبأ نظرية الكون المتعدد بأنه عند البحث بحرص أكبر في عملية الضبط الدقيق، من المفترض أن نجد أن القيم المقاسة للمتغيرات الأساسية (أي تلك التي تؤثر على الحياة) تظهر قيمًا «نمطية» تقع في نطاق قابلية السماح بالحياة.

كيف نعرف أن القيم نمطية؟ سمة عامة للعمليات العشوائية هي أن المصادفات الكبيرة أكثر ندرة بكثير من المصادفات الصغيرة. فكر في عملية إلقاء عملة معدنية عشرة آلاف مرة. إننا نتوقع أن يكون العدد الإجمالي للصورة والكتابة متساويًا بشكل تقريبي بعد كل هذا العدد الكبير من المحاولات. ومع ذلك فلن نندهش إذا تصادف أن استقرت العملة على الصورة ثلاث مرات متتالية من حين لآخر. أربع مرات قد تثير الدهشة، خمس مرات أمر يستحق التذكر، أما عشر مرات متتالية — رغم أنه ليس أمرًا مستحيلًا — فسيكون شيئًا مذهلًا. هذه المرات المتتالية يطلق عليها التنويعات الإحصائية، وهي جزء لا يتجزأ من جميع العمليات العشوائية. القاعدة هي أنه كلما كبر التفاوت (في مثالنا هذا عدد مرات الصورة)، كان احتمال تكراره أقل ترجيحًا. بتطبيق هذا على فكرة تعدد الأكوان سنجد أنه من المرجح أن تكون الأكوان (أو النطاقات الكونية) التي تفي بالكاد بالشروط المشجعة على الحياة أكثر بكثير من الأكوان التي تحقق هذه الشروط بهامش مريح. بعبارة أخرى، ينبغي أن تكون الأكوان التي تفي بالكاد بشروط الحياة أكثر بكثير من الأكوان التي تكون فيها شروط قابلية استضافة الحياة مثالية. ولهذا، إذا لم نكن نحن البشر إلا مراقبين موجودين بالصدفة وسط غيرنا من المراقبين المحتملين، فالأكثر ترجيحًا أن نجد أنفسنا نعيش في كون يشجع على الحياة بهامش بسيط عن أن نجد أنفسنا في كون تكون الظروف المشجعة على الحياة فيه مثالية، وذلك لأن الأكوان من النوع الأول أكثر عددًا بكثير من تلك التي تنتمي للنوع الثاني.

من الأمثلة الملموسة على هذا الأمر الطاقة المظلمة، التي تبلغ قيمتها «الطبيعية» عشرة أس ١٢٠ ضعف قيمتها المرصودة. كما أوضحت، اقترح ستيفن واينبرج أن هذه عملية انتخاب إنسانية؛ فمن منظور الطاقة المظلمة ليس كوننا سوى مصادفة، وقد وقع عليه الاختيار من قبلنا بفضل قابليته للسكنى (فالمجرات لن تتكون إذا كانت الطاقة المظلمة أكبر بكثير). وفق هذه النظرية فإن الأكوان التي تكبح الطاقة المظلمة بهذه الدرجة نادرة للغاية. وبتطبيق قاعدة أن المصادفات الصغيرة أكثر احتمالًا من المصادفات الكبيرة، ينبغي أن تكون هناك أكوان كثيرة تقترب فيها القيمة المرصودة للطاقة المظلمة من القيمة الطبيعية، وعدد أقل من الأكوان تكون فيها القيمة المرصودة أقل بقدر معقول من القيمة الطبيعية، وعدد أقل بكثير من الأكوان تكون فيها القيمة المرصودة للطاقة المظلمة أقل بكثير من القيمة الطبيعية. عندئذٍ يحق لنا أن نتوقع أن يقع كوننا في نطاق قريب من القيمة التي تسمح بوجود حياة، على أساس أن هناك أكوانًا أخرى من هذا النوع أكثر بكثير من الأكوان ذات القيم الأقل من الطاقة المظلمة. وفي الواقع ليس هذا بعيدًا عما نرصده. إن القيمة المقاسة للطاقة المظلمة ليست على الأرجح أصغر من عُشر القيمة «القاتلة»؛ تلك القيمة التي فوقها لن تتكون المجرات. وإذا كانت هذه الطاقة المظلمة المرصودة أقل، مثلًا، بمليون مرة عن القيمة القصوى التي تسمح بالحياة، فهذا يعني استبعاد تفسير تعدد الأكوان بشكل تام، على أساس أن الكون سيكون وقتها ملائمًا للحياة أكثر مما يتطلبه الأمر، بما يتعذر معه تفسير كوننا ذي الطاقة المظلمة الصغيرة كنتاج لمصادفة إحصائية اختيرت بشكل إنساني.[18]

قد يكون من الأيسر فهم هذا المنطق بالاستعانة بمثال: تخيل أن هناك يانصيب تُمنح فيه الجائزة الكبرى لأي شخص يخمن بشكل صحيح أربعة من أصل خمسة أرقام عشوائية ما بين الواحد والعشرة. يحذر رجال الشرطة منظمي اليانصيب لأنهم سمعوا شائعات عن وجود مؤامرة للغش. عند مراجعة النتائج يجد المنظمون أن رجلًا واحدًا خمن بشكل صحيح الأرقام الخمسة كلها، ولم ينجح أحد غيره في الوفاء بالحد الأدنى للجائزة. يتشكك المنظمون على الفور في الأمر؛ لأنه كان على الرجل أن يخمن أربعة وحسب من أصل خمسة أرقام. لقد كان أداؤه أفضل من القدر المطلوب للفوز بالجائزة؛ خاصة وأن تخمين الخمسة أرقام أصعب بعشر مرات من تخمين أربعة أرقام وحسب. لو كانت النتائج قد بينت، مثلًا، أن ثمانية أشخاص نجحوا في تخمين أربعة أرقام ونجح شخص واحد في

تخمين الخمسة أرقام، كان المنظمون سيرون الأمر متوافقًا مع توقعاتهم للصدفة العشوائية. لكن ذلك التوقع «الساحق» المنفرد يثير الشكوك بأن شيئًا مثيرًا للريبة يجري خلف الكواليس.

وبنفس الصورة، إذا كانت المتغيرات الفيزيائية الضرورية للحياة أكثر ملاءمة للحياة بعشرة أضعاف مما نحتاجه للوجود، فهذا كفيل بإثارة الشكوك بأن الصدفة العشوائية ليست التفسير، وأن «شيئًا مثيرًا للريبة» يجري خلف الكواليس. إن هامش العشرة أضعاف — التقدير الحالي في حالة الطاقة المظلمة — مبالغ فيه إلى حد لا يدعو للارتياح (بمعنًى أن القول إن القيمة المقاسة للطاقة المظلمة «قريبة» من الحد الذي يسمح بالحياة، وهي أصغر بعشرة مرات، هو نوع من المبالغة). ومع ذلك فإن نظرية تكون المجرات معقدة ولا تزال غير مفهومة بشكل واف، وقد نكتشف بمزيد من البحث أنه يكفي للطاقة المظلمة أن تكون أعلى بضعفين أو ثلاثة أضعاف عن القيمة المرصودة كي تمنع ظهور الحياة. على أية حال، تتنبأ نظرية تعدد الأكوان بأن تكون المجرات (أو بعض العمليات الأخرى التي تؤثر على الحياة) من المفترض أن تعاق إذا كانت قيمة الطاقة المظلمة أكبر بقليل من القيمة المقاسة. وإذا اتضح أن هذا التنبؤ غير سليم فإن هذا سيكذب نظرية تعدد الأكوان ويشير بدلًا من ذلك إلى وجود «ما يدعو للريبة». وأي نظرية يُحتمل تكذيبها تعتبر، من جانب أغلب العلماء، مؤهلة لأن توصف بـ «العلمية».

(١٤) هل اكتُشفت بالفعل أية «ثوابت» متغيرة؟

هناك طريقة ثالثة يمكن من خلالها اختبار نظرية تعدد الأكوان، فرغم أننا قد نعجز عن رصد الأكوان الأخرى ذات القوانين المغايرة أو ذات القيم المختلفة للثوابت الفيزيائية، فإننا قد نستطيع رصد التفاوتات الدقيقة في القوانين «داخل كوننا». فإذا وجدت مثل هذه التفاوتات فستكذب الزعم القائل إن القوانين محددة بشكل متفرد من واقع نظرية نهائية. من البديهي أنه لو أمكن تغيير القوانين بدرجة بسيطة داخل كوننا المرصود فبإمكانها أن تتغير بشكل كبير فيما وراءه من مناطق. أجرى علماء الفلك والفيزياء اختبارات دقيقة للبحث عن أي إشارات لتغير القوانين على مر الزمن أو عبر المكان. وقد تمكنوا من وضع حدود صارمة للغاية بشأن أي من هذه التغيرات. على سبيل المثال، إذا تغير ثابت الجاذبية G لنيوتن،

الذي يحدد قوة الجاذبية، مع مرور الزمان في الكون، فإن هذا سوف يتجلى من خلال الكيفية التي تدور بها الكواكب حول الشمس. لم يُرصد أي تغير من هذا النوع إلى الآن. أيضًا وضعت حدود على التغيرات المحتملة في شدة القوة النووية الضعيفة والنسبة بين البروتون والإلكترون عن طريق دراسة تكوين جيولوجي عجيب في غربي أفريقيا. يوجد في الجابون عرق من اليورانيوم غني للغاية حتى إنه منذ ملياري عام وصل إلى «الحالة الحرجة» من تلقاء نفسه، مكونًا مفاعلًا نوويًّا طبيعيًّا. بفحص نتاج عملية الانشطار النووي هذه تمكن علماء الفيزياء من تحديد مقدار «ثبات الثوابت» ذات الصلة بهذه التفاعلات بدرجة دقة عالية.

زُعم حديثًا أن شدة القوة الكهرومغناطيسية تغيرت بشكل طفيف، بمقدار أجزاء قليلة من المليون، على مر الستة مليارات عام الماضية، رغم أن هذا الزعم محل خلاف. يأتي الدليل من دراسة التركيب الدقيق لخطوط الطيف الآتية من الكويزرات البعيدة للغاية. إذا كانت القوة التي تربط الإلكترونات بالأنوية تتغير فهذا من شأنه أن يؤثر على «الكود الشريطي» الذي يحدد هوية كل ذرة بشكل متفرد، ويظن بعض علماء الفلك أنهم اكتشفوا هذا الأمر بالفعل. إذا صحت هذه الملاحظة فهذا سيدعم فكرة أن واحدًا على الأقل من «الثوابت» الأساسية للطبيعة ليس راسخًا بشكل مطلق، بل هو أشبه بمتغير بيئي.[19]

من الناحية العلمية، إذن، ليست فكرة تعدد الأكوان محض تخمين، بل لها جذور في العلوم المحترمة ومن الممكن اختبارها بشكل غير مباشر. تبدو الفكرة العامة لتعدد الأكوان كأنها ملمح لا مهرب منه لعلم كونيات الانفجار العظيم الممتزج بفيزياء الجسيمات. لكن إلى أي مدى ينبغي أن يواصل المرء انزلاقه على هذا المنحدر المائل؟ وإذا بدأنا في التسليم بوجود أكوان أخرى استنادًا على أدلة واهية، فأين سنتوقف؟ وكيف يؤثر هذا على فهمنا للواقع؟

(١٥) الوفرة الكونية: مشكلة النسخ البشرية المطابقة

هناك مقولة معروفة تقول: في الكون اللانهائي أي شيء يمكن أن يحدث لا بد وأن يحدث. من وجهة النظر الرياضية هذا حقيقي. مثال بسيط على ذلك قذف العملة؛ إن احتمالات قذف العملة والحصول على صورة ألف مرة متتالية ضئيلة للغاية (حوالي مرة واحدة كل $١٠^{٣٠١}$ محاولة). ومع ذلك، إذا توافر عدد كاف

من العملات المعدنية فسيحدث هذا لا محالة في مكان ما. للإحساس بما يعنيه هذا الرقم، فكر في كل ذرة في الكون القابل للرصد بوصفها عملة معدنية، وأنها تُقذف مرة كل ثانية. إن احتمالات الحصول على ألف صورة متتالية على امتداد جميع الذرات البالغ عددها $١٠^{٨٠}$ ذرة على مدار عمر الكون لا يزال أقل من مرة كل $١٠^{٢٠٠}$ محاولة. إن أكبر عدد متتال من الصور يمكن توقعه، حتى مع إلقاء العملات تريليون مرة في الثانية هو حوالي ٣٦٠ مرة. لكن إذا قُذف عدد لانهائي من العملات فإن الحصول على ألف صورة بشكل متتال يعد أمرًا أكيدًا؛ إذ إن اللانهائية تغلب أي احتمالات، مهما كانت معاكسة. وفي الواقع، لن تحدث الألف صورة المتتالية مرة واحدة وحسب، بل لعدد لانهائي من المرات.

نفس الأمر ينطبق على أي نظام تلعب فيه الصدفة دورًا، على غرار بنية الكون. تخيل أن الفضاء لانهائي، وأن الجزء المرصود من الكون مطابق للجزء المتبقي منه (وذلك على النقيض مما تدعو له نظرية الكون المتعدد). إذا سافرت لمسافة كافية في أي اتجاه، لا بد أن تجد في نهاية المطاف كوكبًا مشابهًا لكوكب الأرض؛ لأن نفس نوعية العمليات ستحدث بنفس الصورة. وإذا واصلت التحرك لا بد أن تجد في نهاية المطاف كوكبًا مطابقًا تقريبًا لكوكب الأرض، بنفس القارات وسلاسل الجبال والمحيطات. من السهل حساب احتمالات تكون أرض أخرى بفعل الصدفة، ومن ثم حساب المسافة التي سيكون عليك قطعها للعثور على هذا الكوكب المطابق. وكلما كانت الأرض الأخرى أكثر شبهًا بأرضنا قلت الاحتمالات وصار عليك السفر لمسافة أبعد. قد يبدو تخيل كوكب آخر مطابق لكوكبنا أمرًا مستغربًا، لكن في الكون اللانهائي لا بد أن توجد كواكب أرض أخرى، حتى وإن كانت تقع على مسافات بعيدة. وبالمثل، ستكون هناك كواكب أرض أخرى يسكنها بشر مثلنا. وبالتمادي في الاحتمالات أكثر يمكن أن نخلص إلى أنه لن توجد وحسب كواكب أرض أخرى يسكنها بشر آخرون، بل سيكون هناك نسخ أخرى منك شخصيًّا، مطابقة لك من جميع النواحي، بما في ذلك خبراتك الحياتية. من واقع المنطق الإحصائي الصارم، مقابل كل كوكب أرض يحوي نسخة مطابقة منك، سيوجد عدد لا يحصى يحوي نسخًا لك تختلف وحسب في بعض الجوانب الطفيفة؛ على غرار لون الشعر أو الطول أو الهدية التي تلقيتها في يوم ميلادك العام الماضي.

قدر عالم الكونيات ماكس تجمارك من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا متوسط المسافة التي عليك قطعها كي تصل إلى أقرب نسخة مطابقة لك بحوالي

١٠^٢٩ متر، وذلك وفق الافتراضات الموضوعة (مثل تطابق قوانين الفيزياء وتوزيع المجرات). قارن هذا بقطر الكون القابل للرصد والبالغ ١٠^٢٦ متر وحسب. من الواضح أن احتمالات العثور على نسخة مطابقة لك ضئيلة للغاية. في الواقع، في نموذج الانفجار الكوني العظيم، فإن المسافة الفاصلة بين الأشخاص المتطابقين أعظم بكثير من حجم الأفق، وهو ما يعني استحالة حدوث تواصل أو حتى تبادل للرسائل بين أي نسختين متطابقتين طيلة فترة حياتهما. لكن حتى لو لم يكن هناك داعٍ للخوف من مقابلة نسختك المطابقة، فإن فكرة وجود ليس نسخة واحدة، بل نسخ لانهائية منك، تعيش حياة مطابقة لحياتك (ومن ثم عدد لا حصر له يعيش حياة مشابهة وإن كانت غير مطابقة لحياتك) مقلقة للغاية في حد ذاتها. وحتى تجمارك ذاته يقر بأن رد فعله تجاه هذه الفكرة كان «الاستغراب وعدم التصديق».[20] إن المشكلة تخص الهوية الشخصية؛ فكل شخص فينا يشعر أنه متفرد. وإذا كان هناك نسخة أخرى مني، ناهيك عن وجود نسخ لا حصر لها مني، فهل ستكون هذه النسخة «أنا» أم شخصًا آخر؟ مثل هذه الأسئلة تصيب الإنسان بالدوار.

من واقع عملية استنباط بسيطة يمكن حساب المسافة التي نحتاج لقطعها حتى نقابل كونًا آخر قابلًا للرصد مطابقًا لكوننا. الجواب هو ١٠^١٠^١٢٠ متر. وبنفس المنطق يجب أن تكون هذه النسخ الكربونية من كوننا موجودة بالفعل في مكان ما، ما دام الكون لانهائيًّا بحق. وسيكون هناك عدد لانهائي منها أيضًا؛ أكوان لا حصر لها مطابقة «في جميع الجوانب» لكوننا المرصود. رغم ما قد تبدو عليه هذه الاستنتاجات من غرابة، فإنها تنبع بشكل لا خلاف عليه من منطق الإحصائيات البسيطة ونظرية الاحتمالات.[21]

الأمر المحوري في هذا التحليل هو افتراض أن الكون اللانهائي لا يتباين من منطقة لأخرى في الفضاء. إلى أي مدى يعد هذا الافتراض منطقيًّا؟ تقترح نظرية التضخم الأبدي الرائجة شيئًا مختلفًا تمامًا؛ أن كوننا ليس لانهائيًّا، بل هو مدمج داخل منطقة شاسعة، لكن متناهية، مشابهة لكوننا. ورغم الاتساع المهول لمنطقة التضخم (أو الكون الجيبي)، فإنها ليست واسعة بالقدر الذي يكفي لاحتواء أكثر من نسخة واحدة منك. إلا أن هذه النتيجة تعد سلاحًا ذا حدين؛ لأن محدودية منطقة التضخم الخاصة بنا لها ثمن فادح، وهو وجود عدد لانهائي من المناطق الكونية «الأخرى»، أو الأكوان الجيبية. وبهذا يكون كل ما فعلناه هو مقايضة لانهائية

بمثلها. يتنبأ التضخم الأبدي بوجود عدد لامتناهٍ من الأكوان التي تنتجها آلية توليد الأكوان. ستكون هناك أكوان كبيرة وأخرى صغيرة، وذلك لو صحت فكرة المشهد العام لنظرية الأوتار، وأكوان بها كل التنويعات من القوانين والظروف المبدئية. أيضًا سيكون هناك عدد لانهائي من الأكوان التي تشبه كوننا، وفي نهاية المطاف، وسط تلك اللانهائية، من المحتم وجود أكوان «مطابقة في جميع الجوانب» لكوننا.

(١٦) هل الكون وهم؟

وكأن فكرة العدد اللانهائي من الأكوان المتطابقة لا تفسد مفهومنا عن الواقع بقدر كافٍ، فإن الأسوأ لا يزال ينتظرنا. تعد سلسلة أفلام «ماتريكس» (أو «المصفوفة») من أكثر الأفلام التي حققت النجاح على مدار السنوات الماضية، وبما أن قدرًا كبيرًا من التصوير جرى في سيدني، حيث أقيم، فأنا أشعر بألفة خاصة لهذا الفيلم. يدور موضوع الفيلم (بشكل عام) حول فكرة أن البشر لا يعيشون بشكل حقيقي، بل هم نتاج لبرنامج محاكاة حاسوبي. إن ما تظنه شخصيات الفيلم عالمًا حقيقيًّا هو في الحقيقة برنامج محاكاة واقعي، صممته حضارة متقدمة ذات قدرات حاسوبية هائلة.

تتمتع فكرة أن العالم المحيط بنا هو نوع من الوهم، أو المحاكاة المصممة لخداعنا، بتاريخ طويل في الفلسفة والخيال العلمي، حيث استُخدمت كتجارب فكرية لأغراض التعليم والتسلية أو ربما الإرباك. الجديد في الأمر هو أن بعض العلماء والفلاسفة البارزين يطلبون منا النظر لفكرة العالم المُحاكى بصورة أكثر جدية. إنهم، ببساطة، يفترضون أن الكون والمراقبين الذين يحويهم — وهذا يشملك — قد يكونون نتاجًا لبرنامج محاكاة حاسوبي هائل تديره كائنات مجهولة. يعبر نيك بوستروم، الفيلسوف في جامعة أكسفورد والخبير بما يطلق عليه «حجة المحاكاة»، عن الأمر بصراحة بقوله: «هناك احتمال قوي بأننا نعيش في عالم من المحاكاة الحاسوبية. وأنا أعني هذا بشكل حرفي، وإذا صحت فرضية المحاكاة فهذا يعني أنك تعيش في واقع افتراضي صممه حاسب آلي بنته حضارة متقدمة. وعقلك، أيضًا، ليس إلا جزءًا من هذه المحاكاة.»[22]

ياللعجب! إن بوستروم يقول ببساطة إن الأغراض الموجودة في الحجرة التي تجلس فيها؛ الكرسي الذي تجلس عليه والكتاب الذي تقرؤه والأشخاص الذين

تعرفهم وتحبهم والمادة المكونة لجسدك — ناهيك عن الشمس والنجوم وبقية الكون — كل هذا من نسج خيالك. الأسوأ من ذلك هو أنك أنت ذاتك من نسج خيالك. وهذه التجربة العقلية — هذا «التخيل» — محاك داخل حاسب آلي عملاق لا يوجد في هذا الكون (الذي هو «في الواقع» غير موجود أساسًا؛ لأنه ليس إلا محاكاة افتراضية)، بل في كون «آخر» من المفترض وجوده؛ كون «مسيطر». هل يمكن أن تَصدق هذه الفكرة ولو من بعيد؟[23] حسن، فور أن تكون مستعدًّا لتقبل فكرة الأكوان المتعددة، فليس هناك سبب وجيه يجعلك تستبعد إمكانية وجود أكوان بها عمليات محاكاة حاسوبية لأكوان أخرى. وفي هذه الحالة يكون الكون المتعدد مسكونًا من قبل أكوان حقيقية وأخرى افتراضية، وليس بإمكان التحليل الجدي لنظرية تعدد الأكوان أن يهرب من هذه التبعات العجيبة المتمثلة في وجود الأكوان الوهمية.

إن أقرب ما يمر به أغلبنا لتجربة فيلم «ماتريكس» هو الحلم، فبعض الأحلام تكون مفعمة بالحياة حتى إنها قد تبدو أحيانًا واقعية. بل إنني مررت بأحلام داخل أحلام، كنت متأكدًا خلالها من أنني أفقت من أحد الكوابيس فقط لأكتشف لاحقًا أنني ما زلت نائمًا. كما أن بعض الناس تراودهم أحلام (لخبرات غير عادية مثل الاختطاف على يد كائنات فضائية) وتكون مقنعة للغاية حتى إنهم يتذكرونها بعد ذلك كخبرات واقعية وينقلونها على هذا الأساس، حتى تحت الاستجواب الدقيق والتنويم المغناطيسي. إلا أننا في أغلب الأحوال نكون قادرين على التفريق بين عالم الأحلام وعالم الواقع؛ فنحن نعرف جيدًا أن عالم الأحلام ليس حقيقيًّا، بل هو محاكاة (رديئة في المعتاد) للعالم الحقيقي، أو وهم خلقته عقولنا التي لا تنام من خلال عملية ما غير مفهومة بعد بشكل كامل. لكن ليس من العسير تخيل وجود عالم للأحلام متسق ومفعم بالحياة لدرجة تجعله يقارب «العالم الواقعي»، بشكل يجعلنا عاجزين عن تحديد هل نحلم أم لا. سبق جوتفريد لايبنيز عصره حين قدم مثل هذا الافتراض بقوله: «رغم ما قيل عن أن الحياة بأكملها ليست سوى حلم، وأن العالم المادي ليس سوى وهم، فإنني سأعتبر هذا الحلم أو الوهم حقيقيًّا بما يكفي ما دمنا، باستخدام التفكير المنطقي، لم ننخدع به مطلقًا.»[24]

إن هدف صناعة الواقع الافتراضي هو خلق إيهام حسي واقعي لدرجة تجعل الشخص يدرك العالم الافتراضي بوصفه عالمًا حقيقيًّا. يتحقق هذا باستخدام معدات مثل وسائل العرض ثلاثية الأبعاد والصوت المجسم والسترات التي تقدم مثيرات حسية ملموسة وقفازات تحرك الصور من خلال إشارات إلكترونية، كما

لو كان مرتديها يلمس أشياء مادية بالفعل. ليس هذا الواقع الافتراضي مشابهًا لعالم الأحلام، الذي ينحصر داخل رءوسنا. لكن قد تكون التكنولوجيا المستقبلية قادرة على توصيل الإشارات الإلكترونية بشكل مباشر إلى مخ الشخص، بما يخلق لديه الانطباع بوجود عالم خارجي وهمي دون الحاجة للتأثير على العينين والأذنين وغيرها من الحواس. يدور أحد موضوعات الخيال العلمي المفضلة حول مخ لا جسد له موضوع في وعاء، ومتصل بنظام حاسوبي متقدم يخلق لديه الانطباع بوجود عالم حقيقي، بحيث لا يدرك الشخص صاحب هذا المخ بأنه لم يعد يملك جسدًا وأن العالم الذي يشعر به لا وجود له. في الواقع، ليست هذه بفكرة جديدة على الفلاسفة، الذين يحبون استخدامها لمناقشة طبيعة عملية الملاحظة والواقع، وصاروا يستخدمون مصطلح «المخ عديم الجسد» للإشارة لهذه الفكرة.[25]

إلا أن أقصى درجات المحاكاة هي تلك التي لا تستخدم المخ على الإطلاق (على العكس من الأحلام والمخ عديم الجسد)، بل تستثير وعي قاطني العالم الافتراضي استثارة مباشرة. للاقتناع بهذه الفكرة علينا التسليم بأن وعي الإنسان ليس نوعًا من الجوهر، بل هو نتاج لعمليات مادية. وهذه بالتأكيد النظرة السائدة بين العلماء. لوقت طويل والأعضاء الأكثر جرأة في أوساط عالم الذكاء الصناعي يخبروننا بأنه في يوم ما ستكون الحاسبات الآلية قوية بما يكفي ليس فقط لحساب الرواتب ولعب الشطرنج، بل للتفكير والوعي بالبيئة المحيطة وبوجودها ذاته. باختصار، ستكتسب وعيًا خاصًا بها. يعود هذا الخط من التفكير إلى ألان تورينج، عبقري الرياضيات البريطاني والمشارك في اختراع الحاسب الآلي الإلكتروني، الذي كتب، عام ١٩٥٢، بحثًا شهيرًا عن السؤال «هل تستطيع الآلات التفكير؟» حدد تورينج فيها المعايير التي بموجبها يمكن الإجابة بنعم.[26] ومجددًا، سارع الخيال العلمي بتصوير آليين وأشباه آليين ذوي «حياة داخلية» تشبه تلك الخاصة بالبشر.[27]

زعم بعض العلماء، أبرزهم عالم الرياضيات من جامعة أكسفورد روجر بنروز، أن الآلات التي نسميها حاليًا بالحاسبات الآلية لن يمكنها، حتى بشكل نظري، أن تحاكي الوعي البشري.[28] لن أدخل في تفاصيل هذا الزعم أو الحجج العديدة المناهضة له. المهم هنا هو أنه حتى بنروز لا ينكر إمكانية محاكاة الوعي البشري من خلال نظام مادي صناعي «من نوع ما»، كل ما في الأمر هو أنه لا يري إمكانية أن يدار هذا النظام من خلال الحواسيب الرقمية. من الناحية النظرية يمكن أن يبني المرء مخًا صناعيًا بنسخ أحد الأمخاخ الطبيعية بالتفصيل

ثم تجميعه جزيئًا تلو الآخر. وإذا فعلنا هذا وزرعنا المخ في جسد فمن العسير أن نتخيل وجود ما يمنع هذا المخ من أن يكون له وعي حقيقي خاص به.

(١٧) لو أنك تعيش في عالم افتراضي، فهل ستدرك هذا؟

إذا قبلنا فكرة محاكاة الوعي، على الأقل من حيث المبدأ، فلا يفصلنا سوى خطوة بسيطة عن فكرة محاكاة الإنسان الواعي بأكمله، بل في الواقع مجتمع كامل من البشر الواعين، وجميعهم يوجدون في عالم من دوائر السليكون، أو على الأقل في آلة أو نظام مصطنع معقد. وهذا بالضبط ما يؤمن العديد من العلماء والمهندسين بأن البشرية نفسها ستكون قادرة على عمله بعد قرون، إن لم يكن عقودًا (وهو ما يجيزه قانون مور).[29] السؤال البديهي إذن هو كيف يمكننا التأكد من أننا لسنا نتاجًا لمثل هذه المحاكاة. كيف نعرف هل نحن بشر حقيقيون، أم لسنا إلا سلاسل من الرقمين صفر وواحد داخل حاسب آلي فائق التطور صنعته حضارة فائقة؟

الإجابة المختصرة هي أننا لا نستطيع ذلك، على الأقل ليس عن طريق الفحص العادي. إن النظام الحاسوبي يسمو فوق العالم الافتراضي الذي يحاكيه. وإذا كنا، والعالم الذي ندركه، منتجًا لآلة معقدة تعالج كمية هائلة من المعلومات، فلن نكون قادرين إذن على إدراك وجود هذا النظام الفائق المسئول عن المحاكاة أكثر مما يستطيع برنامج الحاسب الآلي أن يدرك أنه يدار من قبل حاسب آلي ملموس. إن البرامج الحاسوبية والمكونات المادية للحاسب الآلي تنتمي لعالمين مختلفين تمامًا، أو على الأقل لمستويين مختلفين من المفاهيم. ولهذا لا «نشعر» بأمخاخنا — فلا نعي بها — رغم أننا «نعيش داخلها». وبنفس الكيفية قد يعيش وعينا داخل مخ مُحاكَى يعيش داخل حاسب آلي فائق.

حتى لو كنا نعجز عن التأكد مما إذا كان العالم من حولنا حقيقيًّا أم وهميًّا، يمكننا على الأقل التفكير في الاحتمالات ذات الصلة. كم يبلغ احتمال أن يكون كوننا وهميًّا؟ أهم نقطة هنا هو أن الأكوان الوهمية أرخص بكثير من تلك الحقيقية. فلعمل كون وهمي عليك فقط أن تعالج بعض المعلومات، ورغم أن هذا سيكلفك بعض الطاقة (إذ إن الحاسبات الآلية تسخن)، فإن هذه الطاقة أقل بكثير عن الطاقة المطلوبة لتكوين ١٠^٥٠ طن من المادة. إضافة إلى ذلك، ليس من الضروري أن يُصنع الكون بالكامل كي تقتنع أنت وأنا بأن العالم المحيط بنا حقيقي. إننا

لا نرصد الجزء الأعظم من الكون في حياتنا العادية، لذا من الممكن الاستغناء عنه؛ فقط يكفيك كوكب الأرض والبيئة المحيطة بها. أيضًا ليس من الضروري أن يبلغ الكون الوهمي من العمر مليارات السنين؛ إذ يمكن أن تبدأ المحاكاة في أي وقت في ظل وجود السجلات والذكريات التي تشير للتاريخ المطلوب. ليس من الضروري أن تكون المحاكاة دقيقة في كل التفاصيل؛ فما دمنا لن نلحظ أي تذبذب في المشاهد فلن نعي أننا نعيش في شيء أشبه بفيلم «ماتريكس». في ظل هذه الحقائق من الجلي أن حضارة واحدة فائقة تسكن كونًا حقيقيًّا يمكنها، بتكلفة قليلة نسبيًّا، أن تحاكي عددًا لا حصر له من الأكوان الوهمية. بعبارة أخرى، من المرجح أن تكون نسبة الأكوان الوهمية إلى تلك الحقيقية مهولة.[30] وفي هذه الحالة، إذا لم يستطع الكائن العاقل التفريق بين الحقيقة والواقع فمن المرجح أن السواد الأعظم من نوعية الكائنات هذه يعيش بالفعل في أكوان محاكاة. وهذا يعني بصورة شبه مؤكدة أنني أنا وأنت نعيش في عالم وهمي شبيه بذلك الذي ظهر في فيلم «ماتريكس». وهذه، بشكل عام، النتيجة التي يخلص إليها بوستروم.[31]

(١٨) لا بد أن يحتوي الكون المتعدد على أكوان وهمية إلى جانب الأكوان الحقيقية

ربما كانت تلك الأفكار الغريبة لتظل حبيسة فصول الفلسفة الغامضة لو لم تتبوأ نظرية الكون المتعدد مكانها البارز هذا. إن هذه النظرية، بطبيعتها، تتحدى فهمنا لما هو حقيقي وما هو خيالي. وإذا كنا مستعدين لتقبل فكرة وجود عدد لا حصر له من الأكوان التي لا يمكن رصدها من كوننا هذا، فلماذا نستبعد فكرة وجود عدد لا حصر له من الأكوان الافتراضية أو الوهمية أيضًا؟ لا يوجد ما يدعونا لذلك. في الواقع هناك أسباب قوية تدعونا لتدبر هذه الفكرة بجدية. ففي حين كانت فكرة المحاكاة مقتصرة على كون واحد فحسب، كان من الممكن دومًا الهرب من نتيجتها غير المريحة، التي تقول إن «كوننا هذا» قد يكون محاكاة افتراضية، بالزعم بأنه لا توجد حضارات من المرجح أن تكون قد وصلت إلى نقطة تطور تمكنها من امتلاك قدرة حاسوبية هائلة تمكنها من تحقيق هذه المحاكاة الكونية. على سبيل المثال، هناك أسباب عديدة قد تجعل البشرية لا تعيش أكثر من قرون قلائل من الآن، وقد لا تكون هذه الفترة طويلة بما يكفي لتطور الحاسبات الواعية.[32] إذا

كان مصير مشابه ينتظر أي مخلوقات عاقلة أخرى قد تكون موجودة في مكان آخر من كوننا، فهذا يعني أن المحاكاة، رغم كونها ممكنة من الناحية النظرية، قد لا تتحقق قط على أرض الواقع.

أما لو كان كوننا جزءًا من كون أكبر متعدد فستميل الكفة بشكل أكبر ناحية فكرة المحاكاة. الأمر كله متعلق بأساسيات علم الإحصاء. قد يصح أن البشر لن يعيشوا قط حتى يصيروا حضارة فائقة ذات قدرات حاسوبية مهولة، ونفس الأمر ينطبق على بقية الكواكب الموجودة في كوننا القابل للرصد. إلا أن تعدد الأكوان يغير هذه الفكرة؛ إذ سيتضمن أكوانًا تشبه كوننا لكن تختلف عنه قليلًا تستطيع فيها البشرية أن تحيا حتى نقطة تتمكن فيها من محاكاة حياة وهمية. وما لم يكن هناك قانون من نوع ما يمنع ظهور مثل هذه الحضارات، ليس فقط في هذا الكون بل في الأكوان جميعها (ومن الصعب التفكير في نوعية مثل هذا القانون)، فمن الحتمي أن تحتوي أكوان مثل كوننا على حضارات فائقة قادرة على المحاكاة الكونية. عندئذٍ ستنتج الأكوان أكوانًا أخرى وهمية بأعداد كبيرة، حتى إنه بمقارنة الأكوان الحقيقية مع الأكوان الوهمية، سنجد أن الأكوان الوهمية أكثر عددًا بكثير. وهكذا، من المرجح لدرجة بعيدة أن يكون كوننا وهميًّا. بالطبع قد ترى حضارات عديدة في عملية صنع أكوان وهمية هدرًا للوقت والموارد، إلا أن الأمر يحتاج فقط «بضع» حضارات تقوم به، سواء بدافع البحث العلمي أو التسلية أو الإيثار، وسرعان ما تتزايد أعداد الأكوان الوهمية.

رغم أننا قد لا نستطيع أن نعرف من المظاهر السطحية ما إذا كان كوننا المرصود حقيقيًّا أم وهميًّا، فإن التدقيق الحريص يمكنه أن يكشف لنا عن طبيعته الزائفة. تفكر عالم الكونيات جون بارو في هذا الموضوع، وقد كتب: «حتى لو كان القائمون على المحاكاة شديدي التدقيق حيال محاكاة قوانين الطبيعة، فستكون هناك حدود لما يستطيعون عمله.»

> على فرض أن القائمين على المحاكاة، أو على الأقل الجيل الأول منهم، يملكون معرفة متقدمة للغاية بقوانين الطبيعة، فمن المرجح أن تكون معرفتهم هذه غير كاملة ... هذه الثغرات لا تمنع إتمام عملية المحاكاة واستمرارها بسلاسة لفترة من الوقت. لكن تدريجيًّا ستبدأ الأخطاء الصغيرة في التراكم. وفي النهاية سيتعاظم تأثيرها وستتوقف هذه العوالم

> عن العمل. الحل الوحيد سيكون تدخل القائمين على المحاكاة لترقيع المشكلات كلما ظهرت واحدة منها.[33]

ما الذي سيفضح محاولات القائمين على المحاكاة في إصلاح كونهم غير المتقن هذا؟ يشير بارو لإمكانية وجود «مواطن خلل» في قوانين الفيزياء:

> في مثل هذا الموقف من الحتمي ظهور تناقضات منطقية، وسيحدث بعض الخلل في قوانين الأكوان المحاكاة من حين لآخر. وسيشعر سكان الأكوان المحاكاة — خاصة العلماء منهم — بالحيرة من وقت لآخر بسبب النتائج التجريبية التي يحصلون عليها. على سبيل المثال قد يرصد علماء الفلك بعض الملاحظات التي تبين أن ما يطلق عليه ثوابت الطبيعة تتغير ببطء شديد.[34]

ذكرت من قبل كيف أن الأدلة المبنية على الملاحظة تشير لحدوث تعديل بسيط في شدة القوة الكهرومغناطيسية منذ حوالي ستة مليارات عام. هل قامت آلية ضبط الجودة في نظام المحاكاة الكوني بضبط كوننا «حرفيًّا»؟ يخلص بارو إلى أننا: «إذا كنا نعيش في عالم مُحاكى، ينبغي أن نتوقع حدوث بعض مواطن الخلل المفاجئة، وتغيرات بسيطة في ثوابت الطبيعة المفترضة مع مرور الوقت، مع إدراك أن مواضع الخلل في الطبيعة بنفس قدر أهمية قوانين الطبيعة من أجل فهمنا لحقيقة واقعنا.» المعنى المقصود هو أن الدليل الفلكي المأخوذ من خطوط الطيف الآتية من الكويزرات ربما يكون قد كشف لنا بالفعل عن السر الدفين.

إن النتيجة — إن استطعنا التعاطي معها بجدية — التي تقضي بأننا نعيش على الأرجح في عالم مُحاكى لحاسب آلي لها بعض التبعات المثيرة للاهتمام، بل المثيرة للقلق أيضًا. فإذا كنا نعيش تحت رحمة نظام مجهول يستحيل إدراكه لمعالجة المعلومات، فما الذي يضمن لنا أن يستمر القائمون على عملية المحاكاة فيها؟ ربما يملون الأمر وينهونها؟[35] أو ربما ينفد التمويل المخصص لـ «تجربتهم»؟ ولأن طبيعة العالم الافتراضي الذي نعيش فيه واقعة تحت رحمتهم تمامًا، فما الذي يمنعهم من تغيير البرنامج الحاسوبي وتحويل كوننا الأنيق إلى كون قبيح جهنمي؟

لا يزال الأسوأ لم يأت بعد. تعد المحاكاة من أسس النظرية الحاسوبية. إن فكرة وجود حاسب آلي شامل (عادة ما يطلق عليه آلة تورينج) تعني أنه قادر

على محاكاة أي نظام حاسوبي كوني آخر: وهذا يُعرف باسم مبدأ الشمولية الحاسوبية. للتعبير عن الأمر بشكل عملي يمكن لحاسب آلي من طراز ماكنتوش أن يحاكي حاسبًا شخصيًّا، والعكس بالعكس. ولهذا السبب يستطيع العالم الافتراضي الغني بما يكفي بحيث يشتمل على آلية حاسوبية عامة الغرض (والكبير بما يكفي بحيث يملك الموارد) أن يحاكي بذاته عالمًا افتراضيًّا آخر. سيكون هذا أشبه بفكرة الحلم داخل الحلم التي ناقشتها من قبل، وهو ما يثير ذلك الاحتمال المرعب بأننا قد لا نكون إلا عالمًا افتراضيًّا يعيش داخل عالم افتراضي، أي إننا بعيدون بخطوتين عن الواقع! من الناحية المنطقية لا توجد نهاية لهذه السلسلة المتتالية من المحاكاة الواقعة داخل محاكاة، الواقعة داخل محاكاة ... وقد يضيع الكون الحقيقي وسط تلك السلسلة اللانهائية من العوالم الوهمية. وقد لا يوجد على الإطلاق؛ إذ قد يتكون الواقع من سلسلة لانهائية من العوالم الافتراضية، ولا شيء سوى ذلك.

(١٩) التوحيد والكون الوهمي

لفكرة الأكوان الافتراضية نتيجة مثيرة للدهشة. إن وجود الكائنات الموجودة في تلك المحاكاة، وعالمها، يعتمدان بالكامل على نظام المحاكاة ذاته. فإذا أُغلق الحاسوب الفائق أو سُخر لمشروع آخر (أقل طموحًا؟)، فهذا يعني هلاكنا جميعًا. وعلى هذا يصير نظام المحاكاة بالنسبة لنا بمنزلة المصمم السامي والمبدع والمحافظ على الحياة والمدمر المحتمل. يستطيع هذا النظام، لو رغب، التواصل بشكل مباشر معنا باستخدام إشارات واضحة تظهر في عالمنا، مثل شيء في غير موضعه أو شيء يخرق القوانين الطبيعية، وهو ما سيبدو من منظورنا أمرًا إعجازيًّا. وبالعكس، بما أن نظام المحاكاة هو الذي يحاكي عقولنا، فمن المفترض أن يكون قادرًا على الدخول في أفكارنا، ومن ثم نستطيع التواصل بشكل عقلي معه ومع القائمين عليه (الذين قد يكونون عدة أشخاص أو شخصًا واحدًا). هذا يدعو البعض لاعتبار هذه العلاقة أشبه بالعلاقة بين الإنسان والإله. ومع أن فكرة الكون المتعدد عادة ما يُنظر لها كسبيل للتغاضي عن فكرة التصميم الإلهي، فمن قبيل المفارقة أن الفكرة ذاتها تقدم الدليل العلمي الأكبر على وجود الإله! يتناول جون بارو هذه الفكرة بقوله:

> تظهر الآلهة بأعداد لا حصر لها في صورة القائمين على المحاكاة الذين يملكون القدرة على أن يحيوا ويميتوا الكيانات التي تجري محاكاتها

> والتي يظهرونها للوجود. يحدد القائمون على المحاكاة القوانين التي تحكم عوالمهم، ويمكنهم تغييرها. يمكنهم تصميم آليات الضبط الدقيق الإنسانية. ويمكنهم إنهاء عملية المحاكاة في أي وقت، كما يمكنهم التدخل في عملية المحاكاة أو إبعاد أنفسهم عنها، ويمكنهم مراقبة مخلوقاتهم وهي تتجادل بشأن هل هناك آلهة تحكم عوالمهم وتتدخل فيها أم لا، ويمكنهم صناعة المعجزات أو فرض مبادئهم الأخلاقية على الواقع المحاكى.[36]

إن فكرة الآلهة المتعددة التي أتحدث عنها هنا فكرة محيرة. لن يكون لكل الأكوان آلهة. وأحيانًا ستخلق الآلهة أكوانًا غير مسكونة، وأحيانًا ستكون الأكوان المسكونة حقيقية وليست افتراضية، وبالتالي فلن يكون لها آلهة (أو على الأقل، ليست آلهة سامية). وقد يخلق تلك الأكوان إله واحد، أو يتعاون في خلقها آلهة متعددون، أو قد يخلقها آلهة متنافسون (كما في الديانات الوثنية). وإذا صحت فرضية المحاكاة، فإن بعض الآلهة ستوجد فقط لأن آلهة أخرى قد خلقتها. وقد يكون هناك تسلسل هرمي للآلهة — سلسلة لا نهاية لها منها — يعتمد وجود كل إله فيها على الإله الذي يسبقه. إلا أن فكرة الآلهة التي أتحدث عنها هنا ليس المقصود منها أن تلعب الدور الذي يلعبه الله في الديانات التوحيدية، الذي يسمو كما في الديانة المسيحية فوق شتى جوانب الواقع ويساندها. وبالطبع لا تفسر فكرة الآلهة المتعددة المقترحة وجود الأكوان المتعددة ككل، بما فيها من أكوان حقيقية ووهمية. ومن هنا فإن المصدر النهائي للوجود لا يزال مراوغًا.

رغم ما تتسم به هذه المناقشات الفكرية من إمتاع، فإن هناك مشكلة تتعلق بسلامة الحجة التي تقوم عليها. فكما أوضحت لا يوجد سبب يدعو لتصميم كون افتراضي يتوافق بشكل تام في قوانينه مع القوانين الموجودة في الكون الحقيقي. في الواقع، هناك أسباب عديدة تدعو لعدم عمل ذلك؛ لأن جوانب عديدة من الحياة اليومية لا تعتمد بشكل مباشر على أمور مثل التفاعلات النووية أو الثقوب السوداء. وعلى أي حال، لا تزال الأحلام تحمل بعض المعنى، دون أن يحرص العقل على الالتزام بجميع قوانين الفيزياء فيها. لكن الحجة الداعمة لتعدد الأكوان مبنية على قوانين الفيزياء «المدركة»، تلك القوانين التي اكتشفناها عن طريق الاستكشاف العلمي لهذا العالم. وإذا كان الكون المدرك وهميًّا، فنفس الشيء ينطبق على قوانينه، ولن يكون لدينا مبرر لتعميم هذه الفيزياء الوهمية على الواقع ككل،

خاصة وأننا لا يمكن أن نفترض أن المسئولين عن المحاكاة سيهتمون بأن يجعلوا الأكوان غير المرئية الآن ومستقبلًا التي لا حصر لها تتوافق مع كوننا فقط كي يجعلوا قوانين الفيزياء في كوننا متسقة. وبما أننا لن نملك أدنى فكرة عن الكيفية التي ستكون عليها قوانين الفيزياء في الكون «الحقيقي»، ولا أدنى سبب يدعونا للظن بأنها ستشبه «قوانيننا»، فلا يمكننا الافتراض إذن بأن القوانين الحقيقية ستسمح بتعدد الأكوان.

وهكذا يكون أمامنا ثلاثة بدائل؛ الأول: هو التسليم بوجود أكوان متعددة غنية ومعقدة بما يكفي لإنتاج أكوان مثل كوننا تسكنها مخلوقات عاقلة، وفي هذه الحالة لا بد أن الكون الحقيقي أنتج عددًا أكبر من الأكوان الوهمية، وأننا على الأرجح نعيش في واحد منها. الاختيار الثاني: هو التسليم بأننا نعيش في كون مُحاكى، ونتقبل فكرة أن الفيزياء الوهمية التي نكتشفها لا يمكن أن تنطبق على المشكلات ذات الحقيقة المطلقة، وبالتأكيد لا يمكن استخدامها كحجة على وجود أكوان متعددة، حقيقية كانت أو وهمية. البديل الثالث: هو أن هناك كونًا حقيقيًّا واحدًا وحسب، أو نسخة مقيدة من الأكوان المتعددة، وأن عاملًا ما غير معروف يمنع عملية محاكاة الوعي.

أي بديل هو الصحيح؟ كانت بداية تورطي في هذا الموضوع عجيبة بعض الشيء. منذ سنوات قلائل دعيت لمناظرة تدور حول موضوع وجود الله مع عالم الكيمياء من جامعة أكسفورد، والملحد الصاخب، بيتر أتكنز. هذه المناظرات شيء شائع، ومن المعتاد أن تتكرر فيها نفس الحجج. أثناء ركوب السيارة الأجرة متجهًا إلى قاعة المحاضرات، كنت متلهفًا للخروج بفكرة جديدة ومسلية للجمهور. خمنت أن أتكنز سيلجأ لفكرة الكون المتعدد كتفسير للكيفية التي يبدو بها كوننا كأنه مصمم لاستضافة الحياة، وأردت أن أجد حجة مناهضة خلال الدقائق العشر التي ستستغرقها السيارة في الوصول. عندئذٍ خطر لي بشكل مفاجئ أن الالتجاء غير الحريص لفكرة الكون المتعدد يفتح بابًا للجدل، وذلك بالسماح للأكوان الوهمية بالطغيان على تلك الحقيقية. وبما أن الأكوان الوهمية تحوي فيزياء وهمية، فإن الحجة التي تقود من قوانين الفيزياء إلى فكرة تعدد الأكوان إلى الانتخاب الإنساني إلى فكرة عدم وجود الله سيتم تحييدها في حلقة مفرغة من التناقض الذاتي. وهكذا سيُقضى على حجة تعدد الأكوان بأيدي معتنقيها أنفسهم! تعامل أتكنز مع التحدي الجديد برباطة جأش، إلا أنني لم أقف عند هذا الحد؛ إذ كررت الحجة

التي ذكرتها في صحيفة نيويورك تايمز،[37] مشيرًا إلى أن خطر الأكوان الوهمية يفسد نظرية تعدد الأكوان كلها. إلا أن رد فعل مناصري نظرية الكون المتعدد كان مفاجئًا؛ فبدلًا من التخوف من تهديد الأكوان الوهمية، اعتنقوا هذه الاحتمالية برشاقة كجزء من مفهوم موسع للكون المتعدد. عبر مارتن ريز عن توجهه الجديد بهذا الشكل المقتضب:

> كل هذه الأفكار عن تعدد الأكوان تقود إلى تكامل مبهر بين علم الكونيات وعلم الفيزياء ... إلا أنها تقود أيضًا إلى النتيجة الاستثنائية التي تقضي بأننا قد لا نعيش في حقيقة، بل مجرد محاكاة. إن إمكانية أننا نتاج خلق قوة عليا تجعل الحد الفاصل غير واضح بين الفيزياء والفلسفة المثالية، وبين الطبيعي والخارق للطبيعة، وبين علاقة العقل بالأكوان المتعددة وإمكانية أننا نعيش وحسب في مصفوفة وليس في عالم مادي حقيقي.[38]

إنني محتفظ بتشككي وحذري حيال فكرة تضاعف أعداد الأكوان دون ضابط. وفور تقبل فكرة الأكوان الوهمية تتوافر لدينا أدلة عديدة تشير إلى أن كوننا كون وهمي، وهي مبنية على أن الكون المتعدد من المرجح أن يحتوي على أكوان وهمية أكثر بكثير من تلك الحقيقية. لكن رغم أن كوننا قد يكون وهميًّا بالفعل، فإنني أرى أن الارتياح لهذا الحكم النهائي سيعني نهاية مسيرة العلم. ومن هذا الجانب يشبه هذا الحكم الزعم بأن العالم خُلق منذ خمس دقائق، وأن كل الذكريات والسجلات طُبعت فيه، أي إن الحاضر حقيقي، والماضي ليس إلا وهمًا. ليس بمقدورنا إثبات خطأ هذا الزعم، إلا أن التسليم به لن يصل بنا لشيء. إن الإيمان بأن كوننا مجرد محاكاة افتراضية يشبه فكرة الأنوية؛ أي اقتناع الفرد بأنه هو وحده الذي له وجود حقيقي. من المستحيل أيضًا إثبات خطأ هذه النظرية؛ لأنه من أجل الحصول على دليل مباشر على وجود عقل آخر، سيكون عليك أن تكون هذا العقل، وعندها سيكون ذلك الشخص هو أنت. من الصعب للغاية الجدال مع أي معتنق لهذه الفكرة؛ لأنه ببساطة يفترض أنك جزء من مؤامرة عظمى لمحاكاة وجود العقول الأخرى، والواقع هو أنه لا يوجد سوى عقله فقط. قد يكون معتنق هذه الفكرة راضيًا بقناعته تلك، لكن لا يوجد أي معنى لمحاولة إقناع الغير به. وبالمثل، الإيمان بأن هذا الكون مؤامرة، وأنه زُيِّف كي

يبدو كالكون الحقيقي لن يكون له أي فائدة. فلا يوجد أي معنى في مناقشة هذه الفكرة على أي أساس علمي أو منطقي؛ لأنه لا يوجد سبب يدعو العالم المُحاكى للعمل وفق المبادئ العلمية أو المنطقية، تمامًا مثلما لا يوجد سبب يدعو الشخصية الكارتونية لإطاعة قوانين الفيزياء أو قواعد المنطق. وفي الحقيقة، فور القبول بفكرة أنك أنت ذاتك لست إلا محاكاة حاسوبية، لا يوجد سبب يدعوك للافتراض بأن نفس عملية المحاكاة هذه أوجدت عقولًا أخرى غير عقلك؛ إذ لم يكن شكل العالم ليختلف لو كنت أنت الكائن العاقل الوحيد وبقية الكائنات في عالمك الوهمي ليست إلا جزءًا من عملية المحاكاة. من هذا المنطلق يعد الإيمان بأن الكون ليس إلا محاكاة مساويًا لفكرة الأنوية.

إذا رفضنا فكرة أن الكون مجرد محاكاة، فهل لا يزال «خطر» الأكوان الوهمية يعد حجة مقوضة لفكرة الكون المتعدد (وهو مقصدي من البداية)؟ لست متأكدًا من هذا. إن حجة المحاكاة تظهر من خلال افتراض إمكانية محاكاة الوعي من خلال نظام لمعالجة المعلومات، إلا أن هذه مسألة إيمان بالأساس. وليس من المحال، رغم أنه ليس رائجًا، الاقتراح بأن الوعي سمة جوهرية في البشر لا يمكن توليدها بأي حاسب آلي أو ما شابهه. وحتى لو أمكن محاكاة الوعي بشكل رقمي فقد تستهلك محاكاة كون بأكمله بما فيه من مراقبين موارد هائلة، ما ينفي فكرة أن الأكوان الوهمية أكثر عددًا بكثير من الأكوان الحقيقية. وإذا كانت الأكوان الوهمية لا تمثل سوى نسبة بسيطة من إجمالي عدد الأكوان الموجودة، فهناك يصير الزعم بأن كوننا هو أحد هذه الأكوان الوهمية أقل إقناعًا. ولهذا يظل التساؤل عن إمكانية وجود الأكوان الوهمية مطروحًا للنقاش، وفي حالة وجودها، يظل التساؤل: هل هي المهيمنة على الكون المتعدد.

إلى الآن ركزت على تفسيرين محتملين لسبب ملاءمة الكون بشكل غير متوقع للحياة. أولهما: هو أن أي ملمح من ملامح الضبط الدقيق ليس إلا مصادفة مواتية، ولا يوجد ما يمكن أن يقال أكثر من ذلك. الثاني: هو وجود أكوان متعددة، وأن طبيعة كوننا الملائمة للحياة هي نتاج عملية انتخابية لا أكثر. لكل تفسير من هذين التفسيرين نقاط قوة ومواطن ضعف، وسوف أعود إليهما في تقييمي الختامي في الفصل العاشر. لكن أولًا أحتاج لعرض تفسير ثالث لملاءمة الكون للحياة، ذلك التفسير الذي يفضله الكثيرون من غير العلماء، والذي يقضي بأن الكون يلائم الحياة بهذا الشكل المدهش لأنه مصمم عمدًا على هذا النحو.

النقاط الأساسية

- قد يكون كوننا ليس إلا جزءًا بسيطًا من نظام شاسع (لانهائي على الأرجح) متفاوت يسمى الكون المتعدد. قد يستحيل علينا رصد الأكوان — أو المناطق الكونية — الأخرى ولكن يُستدل على وجودها من خلال النظرية وبعض الأدلة غير المباشرة.
- يمكن أن تتباين قوانين الفيزياء والحالة الأولية من «كون» إلى آخر. وما نعتبره قوانين جوهرية للفيزياء قد لا يكون إلا قوانين محلية ثانوية، ذات خصائص محورية تتضمن تلك ذات الصلة بالحياة، التي «تجمدت» في أعقاب الانفجار العظيم في أول لحظة من عمر الكون.
- الفيزياء التي نعرفها تعد فيزياء «للطاقات المنخفضة» بشكل نسبي، بالمقارنة بحرارة الانفجار العظيم. وكقاعدة عامة يؤدي تبريد أي نظام فيزيائي إلى كسر التناظرات وظهور التعقيد.
- بدأ الكون بسيطًا، بقوانين جوهرية أبسط. إن كتل الجسيمات المرصودة، على سبيل المثال، لم تُكتسب على الأرجح إلا في مرحلة أكثر برودة. وبعض ملامح القوانين الأكثر تعقيدًا التي نراها الآن — والتي نتجت عن كسر التناظر — قد تكون عشوائية. ولهذا قد تختلف في المناطق الأخرى.
- لم تظهر الحياة والمراقبون إلا في المناطق التي أنتجت فيها الصدفة القوانين والحالة الأولية الملائمة للحياة. يرى بعض العلماء أن هذا من شأنه أن يفسر تلك الملاءمة العجيبة للحياة من جانب الكون.
- منتقدو نظرية الكون المتعدد يهاجمون النظرية بشدة. من ضمنهم العلماء الذين يجاهدون للوصول لـ «نظرية نهائية لكل شيء»، التي ستفسر الكون بشكل تام دون اللجوء لفكرة تعدد الأكوان أو انتخاب المراقبين. وهم يأملون في أن تتوصل نظريتهم إلى أنه لا يوجد سوى «عالم واحد، وهو هذا العالم».
- بعض الفلاسفة يطرحون إمكانية فكرة محاكاة الأكوان (على سبيل المثال، واقع افتراضي يدار من قبل حاسبات عملاقة). في تلك الحالة سيحتوي الكون المتعدد على أكوان حقيقية وأخرى وهمية. تشير حسابات بعض العلماء إلى أن الأكوان الوهمية قد يفوق الحقيقية في العدد بمراحل، ولهذا من المحتمل أن يكون الكون الذي نعيش فيه وهميًا!

الفصل التاسع

التصميم الذكي، والتصميم غير الذكي

(١) حجة صانع الساعات

يتفق الجميع على أن الكون «يبدو» كما لو كان مصممًا بحيث يلائم الحياة. حسن، ربما الأمر كذلك بالفعل. ليس هذا باستنتاج خارق؛ ففكرة التصميم المقصود موجودة منذ مئات السنوات. عبر أوجستين عن الفكرة الأساسية حين كتب: «إن نظام وترتيب وجمال وتغير وحركة العالم وجميع الموجودات المرئية تعلن في صمت أنها لا يمكن أن تكون إلا من صنع الله.»[1] وفي القرن الثالث عشر، جعل توما الإكويني من دليل التصميم «طريقه الخامس» للإيمان.[2] في القرن الثامن عشر ذاع هذا الرأي على يد رجل الدين الإنجليزي ويليام بالي، الذي استعان بالصورة البلاغية الشهيرة التي شبه فيها العالم بالساعة.

دعانا بالي لتخيل أننا عثرنا بالصدفة على ساعة ملقاة على الأرض. حتى دون أن نعرف بشكل دقيق الهدف منها، فسريعًا ما سنستنتج أنها صُممت لغرض محدد:

> حين نتفحص الساعة، سندرك ... أن أجزاءها العديدة مُصاغة وموضوعة معًا لغرض معين، فمثلًا هي مصنوعة ومضبوطة بحيث تنتج الحركة، وهذه الحركة منتظمة بحيث تشير لمرور الساعات في اليوم، وإذا شُكلت الأجزاء المتعددة بصورة تختلف عما هي عليه، أو وضعت في موضع مختلف أو بترتيب مغاير عما هي عليه، فإما لم تكن أي حركة لتُنتَج من خلال هذه الآلة، أو لم تكن لتخدم الغرض الذي صممت من

> أجله ... ومن الحتمي أن نخلص إلى نتيجة مفادها أن الساعة كان لها صانع؛ أنه، في وقت وفي مكان ما، تواجد صانع، شكلها لهذا الغرض الذي نراها تخدمه، وأن هذا الصانع يتفهم تركيبها وصمم غرضها.

مضى بالي بعدها لمناقشة «مبتكرات الطبيعة»، الأكثر تعقيدًا من الساعات، التي يتجلى فيها مفهوم التصميم فقال: «إن علامات التصميم قوية بحيث لا يسعنا التغاضي عنها. ولا بد للتصميم من وجود مصمم. وهذا المصمم هو الله.»[3] وكأدلة على التصميم الإلهي تدبر بالي نوعين من النظم الطبيعية؛ الفلكية والبيولوجية. الأدلة الفلكية تتماشى مع موضوع كتابنا هذا، لكن الأدلة البيولوجية معروفة بشكل أكبر وتحظى باهتمام كبير في الوقت الحالي، لذا سأناقشها أولًا.

الكائنات الحية معقدة للغاية، أكثر تعقيدًا بكثير عما ظنه بالي. ومن وجهة نظر عالم الفيزياء هي أشبه بالمعجزة؛ فالأجزاء العديدة المتباينة تعمل معًا في نظام متسق بشكل يثير الذهول. تحتوي الخلية الحية على مضخات دقيقة وروافع ومحركات وأجزاء للحركة الدائرية وتوربينات ودواسر ومقصات وكثير من الأدوات التي نراها في المصانع، وجميعها أمثلة ممتازة على تكنولوجيا المنمنمات. والنظام بأكمله يدير ذاته بفاعلية عظيمة، بشكل تلقائي في بعض الأحيان، وأحيانًا بالتآزر مع الخلايا الأخرى من خلال شبكة متقدمة للتواصل بين الخلوي قائمة على الإشارات الكيميائية. إن وظائف الضبط والتحكم الخاصة بالخلية مدمجة في قاعدة بيانات حمضها النووي، التي تُنَفِّذ التعليمات عن طريق جزيئات وسيطة باستخدام شفرة رياضية مثالية لتحويل التعليمات البرمجية إلى منتجات ملموسة ذات وظائف خاصة. وكل هذا يتم في خلية واحدة فحسب. في الكائنات الأكبر يتعاون عدد أكبر من الخلايا لتكوين الأعضاء على غرار العينين والأذنين والمخ والكبد والكليتين وغيرها من الأجهزة المعقدة في بنيتها وعملها. يحوي المخ البشري وحده من الخلايا عددًا أكبر من عدد النجوم الموجودة في مجرة درب التبانة. وكل هذا يضيف إلى حزمة العجائب التي تحير العقل.

يعد ظهور التصميم من العلامات المميزة للحياة. والسؤال الذي يواجهنا هو: هل الكائنات الحية مصممة بالفعل، أم أنها نتاج عمليات طبيعية تحاكي التصميم بهذا الشكل الذي يلاحظه علماء الأحياء؟ تدين نظرية النشوء والارتقاء لداروين، والمنشورة عام ١٨٥٩، بنجاحها تحديدًا لقدرتها على تفسير مظهر

التصميم دون اللجوء لفكرة واضع التصميم (وهي ما يطلق عليها حجة «صانع الساعات الأعمى»، التي ذاع صيتها بفضل كتاب ريتشارد دوكنز الذي يحمل نفس العنوان).[4] النظرية بسيطة ونوقشت باستفاضة في كتب عديدة، لذا لن نحتاج إلا لملخص بسيط لها هنا. هذه خلاصة النظرية: تنجب الكائنات سلالاتها التي تحمل تنويعات بسيطة؛ كأن تكون أطول أو أدكن لونًا أو أخف وزنًا أو أبطأ أو أسرع ... في بعض الأحيان تكون إحدى هذه السمات مطلوبة (على سبيل المثال، من الأفضل أن تكون سريعًا لو كانت حياتك تتضمن الهرب من الحيوانات المفترسة)، وتكون للكائنات التي تحمل هذه السمة فرص أفضل في الحياة، ومن ثم نقل هذه السمة المفضلة إلى الجيل التالي. وكما عبر دوكنز عن الأمر بقوة فإن الجينات المرغوبة ينتهي بها الحال في الأجيال التالية، في حين ينتهي الحال بالجينات غير المرغوب فيها في بطون المفترسين. وبهذا تعمل الطبيعة كالغربال؛ بحيث تتخلص من الجينات غير الملائمة وتكافئ الجينات المرغوبة بالتكاثر. وبهذه الصورة، وبشكل تدريجي، تتعاظم السمات المرغوبة، ويتم الخلاص من السمات غير المرغوبة في نهاية المطاف. تؤدي زيادة السمات المختلفة في الظروف المختلفة إلى التنوع، وحين يتزايد الاختلاف بين الكائنات المتشابهة حتى يصل إلى نقطة يستحيل فيها التزاوج بينها، تعد أنواعًا منفصلة.

الافتراض الوحيد المقدم في صياغة هذه النظرية هو أن هناك تنوعًا، ووراثة، وانتخابًا. إن مفهوم الانتخاب الكامن في الصراع من أجل البقاء واضح لنا جميعًا، لكن في أيامنا هذه بات العلماء على دراية بكيفية حدوث الوراثة والتنوع الجيني أيضًا، وذلك من ناحية الأساس الجزيئي للحياة. لاحظ أنه رغم أن التنوع قد يكون عشوائيًّا، فإن الانتخاب أبعد ما يكون عن ذلك، لهذا ليس من الصحيح أن نقول إن الداروينية تعزو التعقيد المنظم للمحيط الحيوي للصدفة وحدها. فمن الجلي أن الصدفة لا يمكنها أن تنتج خلية حية (حسب مثال فريد هويل الشهير) أكثر مما تستطيع الزوبعة الهوائية التي تهب في ساحة الخردة أن تنتج طائرة من طراز بوينج ٧٤٧. لكن الصدفة لم تكن العامل الوحيد الذي شكل محيطنا الحيوي.

في الواقع يوجد مكون أساسي رابع في نظرية داروين، وهو الزمن. فالانتخاب لا يعمل إلا جيلًا بعد جيل، ولهذا تتسم التغيرات بالبطء وتتراكم على مدار فترات طويلة من الوقت. احتاجت الحياة مليارات الأعوام كي تتطور من حفنة من

الميكروبات البسيطة إلى ذلك التنوع الذي نراه في محيطنا الحيوي اليوم. لكن لا ضير في هذا؛ فعمر الأرض ٤,٥ مليار عام. يقدم لنا السجل الحفري، رغم عدم انتظامه، دعمًا قويًّا لحقيقة أن الحياة تطورت بالفعل عبر ما لا يقل عن ٣,٥ مليار عام من بدايتها المتواضعة على صورة ميكروبات بسيطة.

(٢) فكرة التدخل الإلهي المتقطع تعود من جديد

بعد بعض المناوشات الكلامية المبكرة بات أغلب علماء اللاهوت متقبلين لنظرية النشوء والارتقاء. وقد ارتضوا بفكرة أن الله يحقق أغراضه عن طريق العمل (وإن كان ببطء) «من خلال» آلية التطور وليس بالعمل ضدها. وقد أقروا بأنه رغم صحة حجة بالي، فإن استنتاجه معيوب، وأن الكائنات تطورت ببطء وبشكل تدريجي نتيجة للانتخاب والتنوع الطبيعيين. ومع ذلك، أشار بعض منتقدي داروين إلى أعضاء، أو كائنات، معينة واعتبروها أكثر تعقيدًا وتنظيمًا مما يمكن تفسيره بالتنوع والانتخاب.

من الأمثلة المفضلة على ذلك العين البشرية، وهي العضو الذي حير داروين. تعد العين مثالًا على ما يسمى «التعقيد غير القابل للتبسيط». المغزى هنا ليس أن العين البشرية عضو معقد، بل في احتوائها على العديد من المكونات المترابطة المتآزرة، على غرار العدسة والسطح الحساس للضوء والبؤبؤ الذي يتحكم في تدفق الضوء. وإذا أزلت مكونًا واحدًا من هذه المكونات فسيضر ذلك بعمل العين بشكل حاد. اللغز هنا يكمن في الكيفية التي تطورت بها هذه الأجزاء العديدة، التي لكل واحد منها على انفراد استخدام محدود، وتجمعت بمثل هذه الصورة المتعاونة. وبما أن جوهر التطور الدارويني هو أن الانتخاب يعمل بشكل بطيء تدريجي على تعديل الأعضاء الجديدة، وأن كل مرحلة وسيطة لا بد أن يكون لها بعض المميزات الانتخابية «في وقتها»، تبدو العين مثالًا جيدًا على وجود ثغرة في تفسير داروين. كما حُدد عدد آخر من الثغرات المشابهة.

كان السجل الحفري وقت داروين غير مكتمل لحدٍّ بعيد، وهو ما شجع على أن يسود بعض الأوساط الشعور بصحة فكرة التدخل الإلهي من وقت لآخر على مدار التاريخ التطوري، وهذا التدخل قد يكون على صورة تعديل ترتيب بعض الذرات أو الجينات هنا وهناك. إلا أن العديد من علماء اللاهوت لم يستريحوا لهذه

الفكرة، وهو ما عبرت عنه كلمات هنري دراموند منذ أكثر من قرن مضى حين قال:

> إن من يقعون فريسة لإغراء فكرة التدخل الإلهي المحدود ينسون أن هذا يستبعد بالتبعية التدخل الإلهي في بقية العملية. إن التدخل المتقطع يعني أن هناك غيابًا متقطعًا، وإذا كان الإله يتجلى في أوقات الأزمات، فهذا يعني غيابه في الفترات التي تفصل بينها. فأي الرأيين أوجه؛ الإله دائم الوجود أم ذلك الذي يظهر من وقت لآخر؟ من المؤكد أن الإله الدائم، المسئول عن التطور، أوجه من ذلك الذي لا يظهر إلا ليصنع المعجزات، كما تصوره بعض علماء اللاهوت التقليديين.[5]

كان اعتراض بعض علماء اللاهوت على فكرة التدخل الإلهي من وقت لآخر فقط قويًا حتى إنهم ابتكروا المصطلح الساخر «التدخل المتقطع» لوصفها.[6] الاعتراض الأساسي ليس في الانتقاص من قدر الخالق وحسب، بل في الخطر الدائم بأن التقدم العلمي ربما يسد الثغرات بطريقة منهجية، وبالتالي يقلص دور الخالق أكثر وأكثر مع مرور الوقت، وربما إلى حد التخلص من فكرة وجوده برمتها. وعلى كل حال، فالإله الذي لا وجود له إلا في عقول الجهلاء، من المحتم في النهاية، طبقًا لهذا الرأي، أن يتراجع ببطء وعناد أمام الاكتشافات العلمية.

وقد سُدت بالفعل ثغرات عديدة، منها تلك الخاصة بالعين، ذلك المثال المفضل على التعقيد غير القابل للتبسيط في القرن التاسع عشر. من السهل القول إن نصف العين لا فائدة منه، إلا أن هذا ليس صحيحًا، وأي شخص صاحب إعاقة بصرية جزئية يشهد بهذا. إن أي قدر من الحساسية للضوء أفضل من لا شيء على الإطلاق، ومن هذا الأساس بات من الممكن إعادة تصميم تاريخ تطوري مقبول للعين، بداية من شيء ليس أكثر تعقيدًا من رقعة حساسة للضوء، يتطلب أن كل تكيف تدريجي يقدم بعض المزايا الانتخابية عن التصميم السابق عليه.[7] في الواقع لقد تطورت العين عدة مرات، باستخدام «تصميمات» مختلفة، وهو ما يوحي بأنه ليس من العسير حقًا على التنوع والانتخاب العشوائي القيام بالمهمة خطوة بخطوة، من خلال تجميع العديد من التغيرات الصغرى. كما يتعزز التفسير الدارويني أكثر من خلال حقيقة أن الكثير من المراحل الوسيطة في تطور العين المعقدة لا تزال موجودة في مملكة الحيوان؛ إذ إن هناك كائنات تستخدمها بالفعل!

(٣) التصميم الذكي في البيولوجيا ليس علمًا

رغم إغلاق المزيد من الفجوات على مدار القرن الماضي، فإن أنصار فكرة التدخل المتقطع لا يتوقفون عن البحث عن فجوات أخرى. من الأمثلة المفضلة لما يطلق عليه حركة التصميم الذكي في الولايات المتحدة السياط البكتيرية، وهي خيوط ذات شكل بارع تدفع الخلية بالحركة الدائرية كالمحرك الصغير. يُزعَم أن هذا النظام يتسم بالتعقيد غير القابل للتبسيط. وليس واضحًا لماذا تعد السياط البكتيرية أكثر «تعقيدًا غير قابل للتبسيط» عن العين، ومن المفترض أن يكون الدرس قد تم تعلمه الآن. ورغم عدم توافر وصف تفصيلي للكيفية التي تطورت بها هذه السياط، فإن الشكل العام معروف، ويتضمن كيف استُخدمت بعض المكونات في الأساس لأغراض أخرى ثم تآزرت لتكوين هذه السياط المحركة.

تؤكد دراسة علم البيولوجيا على أن الكائنات الحية أدوات عجيبة تشكلت حسبما أملت الظروف. ومع أن هناك أجزاء عديدة في الكائن الحي تعمل بشكل جميل، فإن «التصميم» ذاته ليس كاملًا، ففي التطور يكفي أن تتمكن الكائنات من الحياة وحسب، ولا يجب أن تكون كائنات مثالية. والعديد من أجزاء الجسم البشري تعاني من بعض المشكلات في التصميم؛ مثل اجتماع مجرى الطعام مع مجرى التنفس في الحلق، والغلظة غير الملائمة للعمود الفقري.

نقطة الضعف في فكرة «الثغرات» التي تتبناها حركة التصميم الذكي هي أنه لا يوجد سبب يحتم على علماء البيولوجيا أن يملكوا جميع الإجابات على الفور. إن عدم إمكانية تفسير شيء ما في الوقت الحالي لا يعني أنه لا يوجد له تفسير طبيعي؛ كل ما في الأمر أننا لم نعرف هذا التفسير بعد. الحياة معقدة للغاية، والكشف عن دقائق قصة التطور بالتفصيل ليس بالمهمة السهلة. وفي الواقع، في بعض الحالات قد لا نعرف القصة بأكملها قط. فلأن التطور يعمل على مدار مليارات الأعوام، من المرجح أن تكون سجلات الملامح التي توحي بالتصميم قد محيت بالكامل. إلا أن هذا ليس مبررًا يجعلنا نلجأ لسبل أخرى لملء هذه الثغرات.[8]

من الأمور المثيرة للحيرة بشأن دعاية حركة التصميم الذكي الفشل في التفريق بين «حقيقة» التطور، و«آلية» التطور. عادة ما يعتبر أنصار فكرة التصميم الاختلافات بين علماء الأحياء إشارة إلى أن «الفكر الدارويني في مأزق». وحتى لو كان الأمر كذلك فهذا لا يعني أن الحياة لم تتطور على مدار مليارات الأعوام.

تطرح الداروينية آلية مادية محددة. وقد توجد آليات أخرى تدفع التطور. على سبيل المثال، قدم جان بابتيست لامارك نظرية للتطور مبنية على فكرة توارث السمات المكتسبة. وفق هذه النظرية يمكن للخبرات التي يمر بها الكائن في حياته أن تُنقل إلى ذريته، وعلى هذا ينبغي أن يملك ابن الشخص المولع بممارسة كمال الأجسام بنية عضلية أكبر من العادي. لكن لسوء حظ لامارك دُحضت نظريته، بشكل أو بآخر. إلا أن الفكرة هنا هي أن النظرية كان لها تبعات محددة بوضوح وقابلة للاختبار، ولهذا فهي مؤهلة لأن توصف بالنظرية «العلمية». إلا أن نفس الأمر لا ينطبق على فكرة التصميم الذكي. إن من يسعون لتدريس نظريات بديلة لنظرية داروين في المدارس ربما يجدر بهم المطالبة بتدريس نظرية لامارك؛ خاصة وأن بعض جوانب هذه النظرية (العلمية بقدر ما) قد تنجح في بعض الحالات بشكل يفوق الآلية الداروينية.

من آليات التطور الممكنة الأخرى التنظيم الذاتي: تطور العديد من الأنظمة غير الحية أنماطًا معقدة وبُنى تنظيمية من بدايات عديمة الملامح. وهي تفعل هذا بشكل تلقائي، دون تنوع أو انتخاب بالمعنى الدارويني. على سبيل المثال، تُكوِّن ندف الثلج أشكالًا مميزة معقدة سداسية الشكل. لا أحد يقترح أن ندف الثلج تحمل جينات، ولا أحد يقترح أن هذا التجميع صنيعة يد مصمم بعينه، بل هي تجمع وتنظم ذاتها بشكل تلقائي، بما يتماشى مع القواعد الرياضية والقوانين الفيزيائية الثابتة. يوجد التنظيم الذاتي غير الدارويني في الفيزياء والكيمياء وعلم الفلك وعلوم الأرض بل حتى في الشبكة العنكبوتية الدولية. سوف نندهش إذن إذا لم يحدث هذا التنظيم هنا وهناك في علم الأحياء أيضًا، رغم أنني قد أكون مخطئًا في رأيي هذا.[9] وحتى لو كنت مصيبًا، فهذا لا يعني فشل الداروينية، بل ربما لا يكون هذا إلا تفسيرًا جزئيًا لآلية التطور. إن الجزء الناقص في آليات التطور هو أيضًا نتاج لعمليات طبيعية متوافقة مع مبادئ للتنظيم لا يزال علينا استيضاحها مستقاة من قوانين الفيزياء.

من الأمور التي تضفي المزيد من الغموض على هذا النقاش الفشل في التفريق بين «تطور» الحياة و«ظهور» الحياة، بمعنى كيف بدأت الحياة من الأصل. تجنب داروين بنفسه أي إشارة لأصل الحياة، وذلك حين قال: «لا يزال علينا تدبر كيفية ظهور المادة.» (وقد تحدثت عن هذا الأمر في الفصل الخامس). هناك اعتراف بأن أصل الحياة يظل لغزًا محيرًا. إلا أن هذا لا يمكن أن يؤخذ كحجة معارضة للتطور

الدارويني؛ لأن منشأ الحياة ليس جزءًا من نظرية التطور نفسها. ومن الواضح أنه يتوجب علينا مناقشة تطور الحياة على أساس أن الحياة موجودة بالفعل. هل يعد عدم معرفتنا بأصل الحياة ثغرة أخرى علينا ملؤها؟ لا أعتقد هذا. دعني أكرر لك ما قلته آنفًا: ليس معنى غياب التفسير الآن أنه لن يكون هناك تفسير في المستقبل؛ كل ما في الأمر أن معرفة كيف بدأت الحياة هي مشكلة صعبة معقدة تتعلق بحدث وقع منذ وقت طويل للغاية لم يترك أي أثر. لكني واثق من وصولنا لحل لهذه المعضلة في المستقبل القريب.

رغم الظهور المستغرب لفكرة التدخل المتقطع في الولايات المتحدة، فإن نظرية النشوء والارتقاء الداروينية تفسر بشكل قاطع تطور الحياة، وتدحض حجة بالي. لكن ماذا عن المستوى الفلكي؟ هنا يصير الوضع أصعب بكثير.

(٤) تصميم القوانين في مقابل الانتخاب الإنساني في الكون المتعدد

في علم الفلك وعلم الكونيات يظهر التصميم بوضوح عند الحديث عن قوانين الفيزياء والترتيب الكلي للكون، خاصة فيما يخص موضوع الضبط الدقيق والملاءمة لاستضافة الحياة، الذي أناقشه بين دفتي هذا الكتاب. هنا حجة التصميم تصمد بدرجة كبيرة أمام الهجوم الذي تشنه الداروينية عليها؛ إذ لا يمكن تبني الآلية الداروينية للتنوع والانتخاب بسهولة في علم الكونيات.[10] فلا توجد معركة للبقاء، تتصارع فيها الأكوان، ذات الأنياب والمخالب الحمراء، التي تنقل سماتها الناجحة إلى أكوان رضيعة، ولا توجد منافسة على الموارد أو صراعات «تلتهم فيها أكوان أكوانًا أخرى». يمكن القول إنه في نسخة التضخم الأبدي من نظرية تعدد الأكوان، يؤول النصر إلى المناطق الخاوية غير ذات الملامح الواقعة بين فقاعات الأكوان، حيث لم يتوقف التضخم، هذا إذا كان «النصر» يعني الحصول على مساحة أكبر من الفضاء. لكن من الجلي أن الداروينية ليست الإطار الفكري المناسب للبحث عن تفسير لمظهر التصميم في الكون.

إلا أن إمكانية الانتخاب الإنساني تظهر هنا بدلًا من الانتخاب الدارويني. في الفصل السابق ناقشت كيف أن نظرية تعدد الأكوان المجتمعة مع الانتخاب الإنساني شكلت محاولة جادة لتفسير مظهر التصميم. وقد جذب هذا التحدي من جانب نظرية تعدد الأكوان/الانتخاب الإنساني لفكرة التصميم انتباه الكنيسة

الكاثوليكية الرومانية. وحديثًا كتب كريستوف شونبورن، كاردينال فيينا، في صحيفة نيويورك تايمز:

> الآن، في مطلع القرن الحادي والعشرين، وفي مواجهة المزاعم العلمية على غرار الداروينية الجديدة وفرضية تعدد الأكوان في علم الكونيات، والمبتكرة لتجنب الأدلة الطاغية على فكرة الغرض والتصميم في العلم الحديث، ستدافع الكنيسة الكاثوليكية مجددًا عن المنطق البشري بإعلانها أن التصميم الضارب بجذوره في الطبيعة أمر حقيقي. إن النظريات العلمية التي تحاول نسب نتائج التصميم «للصدفة والضرورة» ليست علمية على الإطلاق، بل هي [حسب وصف البابا يوحنا بولس]، تنازل عن الذكاء الإنساني.[11]

الرسالة التي نأخذها من الكاردينال هي أن اللجوء إلى فكرة تعدد الأكوان هو محاولة لدحض فكرة التصميم بدلًا من تفسيرها، وأن وجود الخالق هو التفسير الأفضل والأبسط والأكثر مصداقية.

دعونا إذن نلقِ نظرة على فرضية أن مظهر التصميم في الكون جاء نتيجة لمصمم خالق. بالرغم من أن هذا الأمر تحديدًا ليس تفسيرًا علميًّا (إذ إنه أقرب إلى جعل السبب خارقًا لنواميس الطبيعة)، إلا أنه مع ذلك يظل تفسيرًا معقولًا. والمسألة هنا هي ما مبلغ جودته؟ يمكننا أن نتخيل مجازًا هذا المصمم الذكي على أنه كيان يتأمل مليًّا قائمة تسوق من الأكوان المحتملة، ويكتشف واحدًا يمكن أن يضم حياة ومراقبين، ثم يشرع في العمل على خلقه، مستبعدًا بقية البدائل. ما من شك، حتى في هذا الشكل البسيط، أن فرضية وجود مصمم ذكي ملتزم بقوانين الطبيعة تعد أسمى بمراحل من فرضية المصمم الذي تعرضنا له في القسم السابق، ذلك الذي يخرق قوانين الطبيعة من حين إلى آخر بصنع معجزات في التاريخ التطوري. فالتصميم من خلال القوانين أكثر ذكاءً بصورة لا يمكن مقارنتها بالتصميم من خلال المعجزات. لو أنني كيان قادر على كل شيء وأردت أن أصنع كونًا مأهولًا بالمخلوقات مثل كوننا هذا، وكان في استطاعتي تحقيق ذلك ببساطة باستحضار ما أريد وقتما أريد، لما اعتبرت أعمالي هذه شديدة البراعة. ولكن انتقاء مجموعة من القوانين التي يمكنها، بدون أن تحتاج إلى عمليات إصلاح وصيانة دورية وإدارة على المستوى الدقيق، أن توجد الكون وتحقق التنظيم

الذاتي، والتعقيد الذاتي، والتجميع الذاتي للحياة والوعي معًا — حسنًا، هذا هو الأمر الذي يبدو شديد البراعة حقًّا! إذن التصميم «الذكي» الذي تحبذه حركة «التصميم الذكي» يدهشني أنه ليس شديد الذكاء على الإطلاق، على العكس من مصمم قوانين الطبيعة التي تملك من تلقاء نفسها مثل هذه القدرة الخلاقة المذهلة دونما حاجة إلى التدخل وصنع معجزات.

ولا يتعارض التصميم الذكي للقوانين مع العلم لأنه يتقبل أن الكون كله يدير نفسه وفق القوانين الفيزيائية، وأن كل ما يحدث في الكون له تفسير طبيعي. لا توجد معجزات بخلاف معجزة الطبيعة ذاتها. نحن لسنا بحاجة حتى إلى معجزة لإيجاد الكون في الأساس لأن الانفجار العظيم من الممكن أن يحدث داخل نطاق قوانين الفيزياء أيضًا، سواء باستخدام علم الكونيات الكمي لتفسير منشأ الكون من العدم، أو بافتراض حدوث شيء أشبه بالتضخم الأبدي.

إن مصمم القوانين «مسئول» عن الكون، ويمكن اعتباره داعمًا لوجوده في كل لحظة، لكنه لا يشغل باله بعملياته اليومية. إن نمط الإله الذي أصفه الآن يقترب، فيما أعتقد، مما يجاهر العديد من علماء الأديان وباحثيها — وعدد كبير من العلماء أيضًا — بالإيمان به. ولكن حتى هذه النسخة «التي بلا معجزات» من المصمم الذكي لم تسلم من الانتقاد. والاعتراض الرئيسي على طرح هذا الكيان باعتباره المسبب لهذا الشكل العبقري للكون يكمن في طبيعة التفسير ذاتها التي تعتمد على التسليم المطلق بالواقع الكائن. فما لم يكن هناك بالفعل مبرر آخر للاعتقاد في وجود المصمم الأعظم، فإن مجرد إعلان أن «الرب هو الذي فعلها!» لا يقدم جديدًا على الإطلاق. إن هذا ببساطة ليس إلا غلقًا لإحدى الثغرات — وهي لغز ملاءمة الكون للحياة — بثغرة أخرى — ألا وهي لغز المصمم الذكي المجهول. وبهذا نحن لم نتقدم خطوة واحدة.

(٥) مصمم الكون يجب أن يكون واقعًا خارج نطاق الزمن

هناك أيضًا مشكلة لا يستهان بها أبدًا وهي مشكلة الزمن. الزمان جزء من الكون المادي، لا يمكن فصله عن المكان والمادة. وأي مصمم خالق للكون يجب من ثم أن يعبر حدود الزمن، وكذلك حدود المكان والمادة. أي إن الرب يجب أن يقع خارج الزمان إذا كان هو المصمم والخالق للزمان. كان أوجستين مدركًا

تمامًا لهذه الحقيقة فشرع في تأسيس مدرسة فكرية تجزم بأن الرب كيان لا زمن له، ليس فقط من منطق الحياة الأبدية، ولكن لكونه خارج حدود الزمان تمامًا.[12] (كما أوضحت، الزمان نفسه يمكن أن تكون له بداية ونهاية. ومعظم علماء الأديان لا يريدون أن يكون الرب قد ظهر إلى الوجود مع بداية الزمان وسينتهي إلى عدم مع انتهاء الزمن.) غير أن المشكلة في فكرة المصمم الذي بلا زمن تكمن في الخروج بمنطق من وراء مفهوم التصميم. فما معنى تصميم شيء ما «بلا زمن»؟ حسب التجربة الإنسانية، المصمم كيان يفكر مليًّا مسبقًا في تبعات اختيارات معينة، ثم ينتقي من بينها اختيارًا حكيمًا. ولكن «التفكير» و«مسبقًا» وصفان لا مفر من اعتمادهما على الزمن.

وحتى إذا تقبلنا فكرة أكثر تجريدًا وهي «التصميم الذي لا زمن له»، فستنشأ مشكلة أخرى مع تفاصيل اختيار المصمم. هل كان في استطاعة المصمم أن ينتقي كونًا مختلفًا أو أن يختار ألا يصنع كونًا من الأصل؟ ولو كانت الإجابة بلا، فإن الإله لم يكن أمامه من بديل سوى أن يخلق هذا الكون وألا يلعب أي دور على الإطلاق في التفسير — وهكذا لا يستحق لقب «مصمم». وعندئذ، تُختَزل الطبيعة إلى جزء من الكيان الرباني وليست خلقًا من خلقه. في حقيقة الأمر، قد نتخلى في هذه الحالة عن فكرة المصمم برمتها. غير أن المسيحيين يؤمنون من قديم الأزل بأمر مختلف تمامًا. فهم يؤمنون بأن الرب خلق هذا الكون تحديدًا بكامل إرادته: أي أن الرب كانت له حرية المشيئة في ألا يصنع هذا الكون. ولكن هذا الاعتقاد له مشكلاته؛ لأن في استطاعتنا أن نتساءل لماذا اختار الرب صنع هذا الكون بالذات، ولم يصنع كونًا آخر لا حياة فيه، أو كونًا به أقصى حد من المعاناة. إذا كانت الإجابة هي أن هذا أمر «متعذر فهمه»، إذن لتلاشت من أمامنا سلسلة التفسيرات. وإذا كانت الإجابة هي أن الاختيار كان أعمى أو عشوائيًّا، إذن لوجدنا مرة أخرى أن عنصر التصميم قد فُقِد، لأنه لو كان الاختيار عفويًّا تمامًا، فإن الكون بذلك يُختَزل في كونه لعبة يلهو بها الرب. ولكن إذا كانت الإجابة هي أن قرار خلق الكون كان قرارًا قائمًا على تفكير عميق ومتأن نبع من طبيعة الرب، إذن لوجد المرء نفسه مدفوعًا إلى التساؤل عن مصدر هذه الطبيعة. بعبارة أخرى، من الذي صمم المصمم؟ وهو تعبير آخر عن الأحجية القديمة «من خلق الرب؟».

(٦) تخمينات (بعضها جامح) عن رب طبيعي

من بين سبل تفادي معضلة «خالق الخالق» ذلك الاقتراح التخيلي الذي جاء به عالم الكونيات إدوارد هاريسون، الذي ورد ضمن سياق نظرية الكون المتعدد.[13] إذا كان للمرء أن يتقبل وجود العديد من الأكوان، وأن الأكوان يمكن خلقها بواسطة عمليات طبيعية ذات قوانين وثوابت وظروف ابتدائية مختلفة، فليس أمامنا بعد ذلك سوى خطوة بسيطة لكي نتنبأ بعدها بأن كوننا هذا عبارة عن منتج مصمم هندسيًّا من صنع مصمم ذكي نشأ بصورة طبيعية في كون وجد في زمان أسبق. ويتصور هاريسون وجود مجموعة عشوائية من الأكوان تكون فيها بعض الأكوان الجيبية مسئولة عن خلق الحياة والذكاء بمحض المصادفة. ويكتسب واحد من تلك الأكوان تدريجيًّا ذكاءً خارقًا ويصبح متقدمًا تكنولوجيًّا إلى الحد الذي يجعله قادرًا على خلق أكوان صغيرة حسب الطلب (على سبيل المثال، بالسيطرة على آلية توليد الأكوان). وتكون هذه الأكوان الصغيرة مصنوعة عمدًا من أجل الملاءمة المثالية للحياة والمراقبين. حينذاك سيصير كوننا نتاجًا لعمل إله طبيعي تطور عن طريق العمليات الداروينية القديمة الأصيلة التي حدثت في كون سابق. ولهذا الكيان وجود قديم في تاريخ الفلسفة الدينية، وعادة ما يطلق عليه اسم «خالق الكون المادي». كان هذا الخالق في فلسفة أفلاطون خالقًا شديد القوة للعالم الذي نراه، لكنه مع ذلك كان مضطرًّا للعمل في نطاق الموارد والقوانين المتاحة. فخالق الكون المادي لا يملك طلاقة القدرة، مثلما هو الحال مع الإله في ديانات التوحيد. غير أن الإله في فكر هاريسون «خالق جبار للكون المادي» لأن في استطاعته أن يتخير كلًّا من شكل المادة وقوانين الفيزياء منخفضة الطاقة عن طريق، مثلًا، إنشاء كون في المنطقة الملائمة من المشهد الطبيعي وفق نظرية الأوتار.[14] ومع ذلك، فإن هذا الرب لا يزال محكومًا بقوانين نظرية الأوتار/النظرية M (أو أي نظرية موحدة يتخيلها المرء) وفيزياء آلية توليد الأكوان.

ويحمل تكهن هاريسون بصمات فكرة هويل عن وجود «ذكاء خارق»، تعمد «التلاعب بقوانين الفيزياء»، وكذلك بصمات أولاف ستابلدون في روايته الشهيرة «صانع النجمة».[15] لم يكن هويل يحبذ فكرة الألوهية التقليدية في المسيحية التي تجعل الكون اختيارًا حرًّا لأنها تعني ضمنًا وجود انحراف للخالق ولعملية الخلق: فالخلق يعتمد على الإله، لكن الإله يظل غير متأثر بالخلق. وإذا كان الإله في غير

حاجة لخلق العالم ولم يتأثر به، فلماذا كلف نفسه عناء الخلق؟ يشير هويل إلى أن هذه «المعضلة المنطقية يمكن تفاديها»؛ إذا كان الإله موجودًا «فقط بفضل الدعم الذي يتلقاه من الكون.»[16] وقصد هويل بذلك أن الإله موجود داخل نطاق الكون (أو الكون المتعدد) لا خارجه.

وقد طُرِحَت أفكار مماثلة مثل تلك التي نادى بها أندريه ليند في بحث عجيب أسماه بصورة غير رسمية «خلق الكون: ذلك الفن الشاق»، والذي يتحدث فيه عن حضارة خارقة تتلاعب بالحرارة والضغط والمجالات الخارجية من أجل تهيئة مولد كون مزود بقواعد فيزياء منخفضة الطاقة مشجعة على ظهور الحياة، «ليرسل رسالة لأولئك الذين سوف يعيشون فيه.»[17] وفكرة أن الكون يحمل ما يشبه «رسالة في زجاجة» كانت هي أيضًا الفكرة التي التقطها هاينز باجيلز، الذي تساءل عما إذا كانت قوانين الفيزياء العبقرية المبدعة المشجعة على وجود الحياة — والتي أطلق عليها اسم «الشفرة الكونية» — قد تكون رسالة من خالق للكون المادي:

> العلماء عند اكتشافهم لهذه الشفرة هم في الحقيقة يفكون شفرة الرسالة الخفية لخالق الكون المادي، والحيل التي استخدمها في خلق الكون. ولا يمكن لعقل بشري أن يكون قد رتب لوجود رسالة تتصف بمثل هذا التماسك الذي لا تشوبه شائبة، والتخيلية على نحو شديد الغرابة، بل التي تبدو أحيانًا شاذة تمامًا. لا بد أن يكون ذلك عملًا أنتجه ذكاء غريب.[18]

بذل باجيلز جهدًا كبيرًا لكي يوضح أن ذلك الخالق للكون المادي الذي يقصده، أو «الذكاء الغريب»، لم يكن سوى تجربة فكرية مثيرة، وأن الكيان المذكور بشكل أو بآخر قد «أفصح عن نفسه من خلال سطور الشفرة». وتبنى الكاتب العلمي جيمس جاردنر نفس الفكرة العامة فيما أسماه «الكون الحيوي الأناني». وتقوم نظريته على أن الكون نظام منظم ومكرر لذاته تبرز فيه الحياة والذكاء ليخلقا أكوانًا جديدة ذات حياة وذكاء، بضبط «مفاتيح آلة التصميم» ضبطًا دقيقًا. كتب يقول: «بموجب هذه النظرية، القوانين والثوابت مرحبة بالحياة تحديدًا لأنها مصممة هندسيًّا عن عمد على يد أشكال ذكية متقدمة من الحياة في دورة كونية سابقة لتهب كوننا القدرة على التكاثر بواسطة الحياة.»[19]

والآن حان الوقت لعمل فحص للواقع. خلال بحثنا عن حل للغز ملاءمة الكون للحياة واجهنا خليطًا مثيرًا من التخمينات والتكهنات، تتراوح بين المحيرة

والهشة بصورة خطيرة. اشتملت بعض الأفكار على أكوان زائفة صممها أرباب زائفون، وأكوان متعددة تظهر كل شيء يمكن تخيله بصورة مطلقة، والآن كيانات خارقة الذكاء أشبه بالآلهة تتطور بصورة طبيعية لكنها بعد ذلك تستمر لكي تخلق أكوانًا كاملة أو تستغلها لتحقيق أغراضها. كل هذه النظريات الخيالية تقدم مادة خصبة للترفيه في مجال الخيال العلمي، غير أن مجال العلم المهني قد تخلف بشدة. ولولا حقيقة أن المتنبئين من بينهم بعض العلماء الأفذاذ، لكانت المناقشة على الأرجح انتهت دون إحداث مزيد من الجلبة. إن حقيقة أن بعض العقول العظيمة قد وُجِّهت نحو استكشاف تلك الأفكار الجامحة تعد شهادة على الطبيعة المستعصية للمشكلات التي تواجهنا. ينبغي علينا بطريقة أو بأخرى أن نفهم كيفية ارتباط الحياة بعلم الكونيات (إلا إذا أردنا أن نصرف النظر عن وجود ذلك الارتباط باعتباره أمرًا خياليًّا). ولكن حتى إذا كنا مستعدين لقبول فكرة الإله الطبيعي باعتبارها فرضًا جدليًّا قابلًا للتصديق، فإننا بذلك لا نكون قد أنجزنا إلا نصف المهمة.

(٧) الإله باعتباره كيانًا ضروريًّا

هناك عيب رئيسي في المناداة بوجود أرباب خالقين للكون المادي وأرباب طبيعيين وهو أن ذلك لا يتعرض للتفسير النهائي للوجود. لا بد أن نفترض أن هناك كونًا ما أو أكوانًا متعددة وُجدت بالفعل قبل أن يظهر الإله أو الآلهة. من غير المرجح أن يبدي علماء الأديان المتخصصون انبهارهم بذلك الأمر. فهم ينادون بوجود ألوهية خالدة متجاوزة لكل الحدود، تقع خارج نطاق جميع الأكوان في جميع الأزمان ومسئولة عنها. وقد واجه علماء الأديان معضلة «من خلق الرب؟» المثيرة للجدل لقرون طويلة، وكان أمامهم متسع كبير من الوقت لكي يتوصلوا إلى إجابات مشوقة. والمبدأ المسيحي المتعارف عليه هو أن الرب لم يخلقه أحد، وإنما هو كيان ضروري — كيان لا يحتاج وجوده إلى تفسير بشيء خارج ذاته. بعبارة أخرى، من المستحيل منطقيًّا ألا يكون الرب موجودًا؛ فحالة «عدم وجود إله» تعتبر غير ذات معنى.

والأمر بعيد كل البعد عن الوضوح بالنسبة لي إن كان مثل هذا الاستنتاج صحيحًا من حيث المنطق ومتماسكًا من الناحية النظرية أم لا (حتى الفلاسفة

المتخصصون لا يزالون يتجادلون بشأنه)،[20] ولكن حتى إن كان صحيحًا، فإننا لم ننته بعد. فالمسيحيون، مثل جميع أصحاب ديانات التوحيد، يؤمنون بإله واحد. لهذا فهم في حاجة لبيان ليس فقط أن الإله موجود بالضرورة، ولكن أيضًا أن هذا الكيان هو بالضرورة كيان متفرد، وإلا لكان من الممكن أن تكون هناك كيانات ضرورية لا حصر لها تصنع ما لا حصر له من الأكوان. وحتى إذا أمكن حل كل هذا، فإننا لا نزال نواجه مشكلة أنه بالرغم من الوجود الضروري للإله وبالرغم من طبيعته، فإن الإله لم يخلق بالضرورة الكون على حاله، وإنما هو اختار فحسب أن يفعل ذلك. ولكن أجراس الإنذار تدق الآن: هل يمكن لكيان ضروري أن يتصرف على نحو ليس فيه أي نوع من الوجوب والضرورة؟[21] هل هذا أمر منطقي؟ للوهلة الأولى، لا. وإذا كان الرب على حاله بالضرورة، فإن خيارات الرب يجب أن تكون هي الأخرى على حالها بالضرورة، ومن ثم تتلاشى حرية الاختيار.[22] ومع ذلك، هناك تاريخ طويل من المحاولات للالتفاف حول هذه العقبة، والتوفيق بين الإله الضروري وكون يجيء بالمشيئة والاختيار وليس بالضرورة.[23]

هل أصابتك الحيرة؟ من المؤكد أنني متحير. إنني لست فيلسوفًا مخضرمًا بالدرجة التي تسمح لي بتقييم هذه التفسيرات، التي تتحول إلى قضايا غاية في التقنية. إن الحجج مجردة، وماكرة، ومعقدة، ولا محالة يبرز السؤال: ألم يكن شيء مثل الكون المتعدد والتفسير الإنساني أيسر في فهمه ومقبولًا برمته أكثر من كل هذا؟

فقط لو كان ذلك صحيحًا.

(٨) من صمم الكون المتعدد؟

رغم ميل البعض لاعتناق فكرة تعدد الأكوان كبديل لفكرة التصميم المقصود، فإن هذا لن يحقق نجاحًا كبيرًا؛ إذ إن كل ما تفعله نماذج الكون المتعدد الشائعة هو أنها تنقل المشكلة إلى مستوى أعلى وحسب؛ من مستوى الكون الواحد إلى الكون المتعدد. لتفهم هذا الأمر علينا الحديث عن الافتراضات العديدة التي تقوم عليها نظرية الكون المتعدد.

أولًا: هناك آلية لتوليد الأكوان؛ على غرار التضخم الأبدي. هذه الآلية يُفترض أنها تحوي عملية ضابطة طبيعية أشبه بالقانون، في حالة التضخم الأبدي عملية

«البزوغ» الكمي للأكوان الجيبية، على وجه الدقة. إلا أن هذا يثير التساؤل البديهي عن مصدر القوانين الكمية (ناهيك عن قوانين الجاذبية، بما فيها التركيب العرضي للزمكان الذي تعتمد عليه هذه القوانين) التي تسمح بالتضخم. في نظرية الكون المتعدد الأساسية تُقبل القوانين المولدة للأكوان بوصفها من المسلمات؛ بمعنى أنها ليست نتاجًا لنظرية تعدد الأكوان. ثانيًا: لا بد أن يفترض المرء أنه رغم احتواء الأكوان الجيبية على قوانين متباينة، التي قد تكون موزعة بصورة عشوائية، فإنه من الضروري وجود قوانين بعينها في جميع الأكوان. إضافة إلى ذلك، تلك القوانين محددة بشكل تام من حيث الصيغة؛ إذ إنها موصوفة من خلال معادلات رياضية (على النقيض مثلًا من المبادئ الأخلاقية أو الجمالية). في الواقع، الموضوع كله مبني على الافتراض بأن الكون المتعدد يمكن تجسيده على صورة مجموعة فرعية محدودة نسبيًّا من القوانين الرياضية.

علاوة على ذلك، إذا سلمنا بأن نظرية الأوتار/النظرية M تتنبأ بالكون المتعدد، فلا بد أن تُقبل هذه النظرية هي الأخرى، بصيغتها الرياضية المحددة، كمعطى مسلم به؛ أي إنها موجودة دون حاجة لتفسير. من الممكن أن نتخيل وجود نظرية موحدة أخرى، نسميها النظرية N مثلًا، تحوي هي الأخرى مشهدًا عامًّا كثيفًا من الاحتمالات. لا توجد حدود للعدد الممكن من النظريات الموحدة التي يمكن اختراعها؛ كالنظرية O والنظرية P والنظرية Q ... ومع ذلك فمن المفترض أن تكون واحدة من هذه النظريات هي «النظرية الصحيحة»، دون تفسير. قد يجادل البعض بأن النظرية التي تفسر كل شيء من المفترض أن تنشأ من مستوى أعمق من التفكير المنطقي، بحيث تحتوي على أجسام رياضية مجردة طبيعية وأنيقة يستحسنها الرياضيون النظريون لخصائصها الرائعة. وينبغي، إن جاز لنا أن نقول هذا، أن تظهر نوعًا من التصميم العبقري. (بطبيعة الحال يعتقد الفيزيائيون النظريون الذين يبتكرون مثل هذه النظريات أن أعمالهم مصممة بأعلى درجات البراعة.) في الماضي كان الجمال والعمق الرياضيان هما الدليل الدامغ على الحقيقة. كان الفيزيائيون ينجذبون إلى العلاقات الرياضية الأنيقة التي تربط الأجسام بعضها مع بعض بصورة اقتصادية أنيقة؛ بحيث تمزج السمات المتباينة بطرق متناغمة بارعة. إلا أن هذا يضفي بُعدًا جديدًا على القضية؛ مشكلة الجماليات والذوق. هذا من شأنه أن يجعلنا نقف على أرض مهتزة؛ فرغم أن النظرية M قد تبدو جميلة في أعين مبتكريها، فإنها قد تبدو قبيحة في نظر أصحاب النظرية N، الذين يرون

أن نظريتهم هي الأكثر أناقة. لكن هنا قد يختلف أنصار النظرية O مع كلا الفريقين ...

(٩) لو كانت هناك نظرية موحدة نهائية، لما كانت هناك حاجة إلى إله

اسمح لي الآن بأن أعرض البديل العلمي الأساسي لنظرية الكون المتعدد؛ إمكانية وجود نظرية «فريدة» نهائية لكل شيء، نظرية تسمح بوجود كون «واحد» فقط.[24] تذكر أن العديد من العلماء، بمن فيهم بعض من أبرز أنصار نظرية الأوتار أمثال ديفيد جروس، ينتقدون فكرة الكون المتعدد، ويعتبرون أن من يعتنقونها هم من «المستسلمين». إنهم مقتنعون بأن نظرية فريدة تصف هذا العالم الفريد، تكون بها كل القوانين والمتغيرات محددة بشكل تام، ستظهر في نهاية المطاف، وربما يكون هذا اليوم قريبًا. وقد ذكر أينشتاين ذات مرة أن أكثر ما أثار اهتمامه كان هذا السؤال: «هل كان أمام الإله اختيار في خلق العالم؟» إذا كان جروس محقًا، فستكون الإجابة بالنفي؛ بمعنى أن الكون لم يكن ليوجد إلا بالصورة التي هو عليها، وأنه لا يمكن أن يوجد إلا كون واحد فقط متسق مع ذاته من الناحية الرياضية. وإذا لم يكن هناك اختيار، فلا حاجة إذن لمن يختار، ولن يكون أمام الإله ما يفعله لأن الكون كان سيوجد كما هو بالضرورة.

مع أن فكرة النظرية «الخالية من المتغيرات الحرة» قد تكون مثيرة للاهتمام، فإن عقبة كبيرة تعترضها. فلو صحت هذه النظرية فسيعني هذا أن ملاءمة الكون العجيبة للحياة هي نتاج للصدفة لا أكثر. وفي هذه الحالة نكون بصدد نظرية افتراضية فريدة يتصادف، لحسن حظنا، أنها تسمح بظهور الحياة والعقل. يا للحظ الحسن! لكي يكون لديك فكرة عن ما يفترض بنا تصديقه، سأعطيك مثالًا:[25] اكتُشفت قيمة الرمز «ط»، الذي يمثل النسبة بين محيط الدائرة إلى قطرها، على يد علماء الهندسة الإغريق القدماء. وهو يستخدم أيضًا في سياقات عديدة في العالم الطبيعي، بداية من حركة الكواكب إلى أنماط الموجات. قد يقول البعض إن «ط» جزء أساسي من بنية العالم المادي. لكن لا يمكن التعبير عن «ط» كنسبة بين عددين صحيحين (إذ إن هذا غير منطقي)، بدلًا من ذلك يجب سرده ككسر عشري لانهائي: ٣,١٤١٥٩٢٠٠٠، دون أي نهاية لسلسلة الأرقام. أيضًا يمكن التعبير عنه كتتابع ثنائي لانهائي من الأرقام صفر وواحد. تظهر الاختبارات الإحصائية أن

هذه السلاسل الرقمية، العشرية والثنائية، عشوائية بالكامل. ومعرفة أول مليون رقم لن تعطيك أي إشارة عما سيكون عليه الرقم مليون وواحد.

تخيل بعد ذلك أن هذا التمثيل الثنائي اللانهائي للقيمة «ط» يُعرض على شاشة حاسب آلي في شكل تصويري بسيط، من خلال تمثيل الرقم ١ بنقطة بيضاء والرقم صفر بنقطة سوداء، بداية بأول رقم مع الاستمرار بشكل لانهائي. بما أن التتابع عشوائي سينتج عن ذلك شاشة تلو الأخرى من «البقع الصغيرة» غير المثيرة للاهتمام. لكن من سمات العشوائية أن أي شيء من الممكن أن يحدث سيحدث بالفعل، عاجلًا أو آجلًا. في هذه الحالة، ستكون النتيجة أنه في مكان ما من التمثيل الثنائي للقيمة «ط»، ستظهر شاشة تحتوي على شكل له معنى؛ دائرة مثلًا. من السهل التوصل إلى أن احتمالية حدوث هذا الأمر ضعيفة للغاية، حتى إن الحاسب قد يظهر شاشة جديدة تظهر تسلسلًا ثنائيًا مختلفًا للقيمة «ط» كل ثانية لمدة عمر بأكمله دون أن تكون هناك سوى فرصة ضئيلة لظهور شكل الدائرة. ومع ذلك فهناك احتمالية لا تساوي الصفر لحدوث ذلك. نفس المنطق ينطبق على الأشكال الأكثر تعقيدًا، مثل صورة الوجه، لكن كلما زادت الصورة تعقيدًا قل احتمال ظهورها.

الآن تخيل أن هذه التجربة أجريت بالفعل، لكن بعد دقيقتين فحسب ظهر على الشاشة وجه مبتسم! ما الذي ستستنتجه من هذا؟ ربما يكون الذهول التام هو أقل ما ستشعر به وقتها، وتشك على الفور بحدوث خدعة ما. ومع ذلك فالتعبير الثنائي عن القيمة «ط» محدد بشكل متفرد من واقع القواعد الرياضية. لا توجد متغيرات حرة للعبث بها كي «تظهر صورة الوجه». فلو ظهرت صورة وجه فستظهر فقط بفعل المنطق الراسخ للأرقام الحقيقية، وليس علينا تقديم أي تفسير إضافي. نفس الأمر ينطبق على نظرية كل شيء المتفردة الخالية من المتغيرات الحرة، التي تصف، كنتيجة بحتة لمنطقها الرياضي الداخلي، كونًا يسمح بالحياة (إذا كانت هذه النظرية موجودة فعلًا). بالطبع لو كنت ترى أن الحياة والعقل ليسا بهذه الخصوصية، فلن تكترث كثيرًا لهذا المثال الخاص بالقيمة «ط». لكن في رأيي، الحياة والعقل شيئان خاصان متميزان، وسأشرح أسباب اعتقادي هذا في الفصل التالي. يبدو لي أن النظرية الرياضية المتفردة التي لا تشير بشكل خاص للحياة، بل تذكر وجودها بهذا الشكل العرضي هي عسيرة على التصديق، تمامًا مثل إمكانية ظهور الوجه في التجسيدات الرقمية الأولى للقيمة «ط».

(١٠) النظرية النهائية المتفردة تبدو مُكذَّبة بالفعل

هناك حجة أخرى، أكثر مباشرة، ضد فكرة وجود نظرية نهائية متفردة. إن مهمة الفيزيائيين النظريين هي بناء نماذج رياضية محتملة للعالم. عادة ما يطلق على هذه النماذج «النماذج المصغَّرة»؛ التي من الواضح أنها بعيدة عن الواقع لدرجة لا يمكن معها اعتبارها كتوصيفات جادة للطبيعة. يبني الفيزيائيون هذه النماذج كنوع من التجربة؛ لاختبار مدى اتساق بعض الأساليب الرياضية، لكن غالبًا ما يستخدمونها لأنها عادة ما تحاكي بدقة بعض الجوانب المحدودة للعالم الحقيقي، رغم عدم انطباقها الواضح على بقية الجوانب. المثير هنا هو أن هذه النماذج المبسطة للعالم قد يكون من السهل استكشافها رياضيًّا، ومن الممكن أن تكون الحلول إرشادات مفيدة لما يحدث في العالم الحقيقي، حتى لو كان النموذج غير واقعي في الإجمال.

من الأمثلة الطيبة على النماذج المصغرة ذلك النموذج المستخدم لحل المشكلات في أبعاد أقل من الأبعاد الثلاثة المعتادة للفضاء. كثيرًا ما فعلت هذا بنفسي في السبعينيات. كنت مهتمًّا بسلوك المجالات الكمية المنتشرة في الزمكان المنحني، وكان من الممكن حل المعادلات بدقة بالتظاهر بأن الفضاء كان له بعد واحد وليس ثلاثة. في بعض مواقف العالم الواقعي لم يكن البعدان الإضافيان اللذان حذفتهما يلعبان دورًا مهمًّا، لذا أفادتني حساباتي عن البعد الواحد. هذه النماذج المصغرة ليست وصفًا للعالم الحقيقي، بل لبدائل أبسط. ومع هذا فهي تصف عوالم «ممكنة». وأي شخص يريد أن يزعم أنه ليس هناك إلا نظرية واحدة فقط متسقة مع ذاتها عن العالم سيكون عليه أن يفسر لنا لماذا تعد النماذج الرياضية التي لا حصر لها التي تملأ صفحات دوريات الفيزياء والرياضة النظريتين توصيفات غير مقبولة لعوالم ممكنة من الناحية المنطقية.[26]

ليس علينا التفكير في أكوان مختلفة بشكل جذري عن كوننا للتدليل على صحة النقطة السابقة؛ فقط دعونا نبدأ بالكون كما نعرفه ونغير شيئًا بسيطًا: على سبيل المثال نجعل الإلكترون أثقل ونترك بقية العالم كما هو. هل سيعجز هذا الترتيب عن وصف كون ممكن، لكنه مختلف عن كوننا؟ «انتظر لحظة»، هكذا سيصيح أنصار النظرية الخالية من المتغيرات الحرة، «لا يمكنك تعديل أحد ثوابت الطبيعة كيفما اتفق ثم تعلن أن لديك نظرية لكل شيء! فالنظرية لا تقتصر

وحسب على مجموعة من الأرقام الجافة؛ فلا بد من وجود إطار رياضي موحَّد تظهر هذه الأرقام من خلاله كجزء صغير من القصة.» هذا صحيح. لكن يظل بإمكاني ملاءمة مجموعة محددة من المتغيرات مع عدد غير محدود من البنى الرياضية، بالمحاولة والخطأ لو لزم الأمر. بالطبع قد تكون هذه البنى الرياضية قبيحة ومعقدة، لكن ليس الحكم على أساس النواحي الجمالية هنا، بل المنطقية. لذا من الواضح أنه لن تكون هناك نظرية فريدة لكل شيء ما دام المرء مستعدًّا للتفكير في الأكوان الممكنة الأخرى والنماذج الرياضية القبيحة.

مع أن الحجة التي قدمتها للتو تبدو غير قابلة للجدل، فإن العديد من الفيزيائيين سيرتضون بأي زعم أضعف من التأكيد على أن الكون من المحال أن يكون على أي نحو غير الذي هو عليه، فبطبيعة الحال، قد توجد أعداد كبيرة من «نظريات كل شيء» المتسقة رياضيًّا التي تصف أكوانًا مختلفة عن كوننا، لكن حين يتعلق الأمر بـ «هذا» الكون، ربما لا توجد غير نظرية وحيدة متسقة ذاتيًّا. ربما لو عرفنا المزيد عن النظريات الموحدة لاكتشفنا أن «مفتاحًا» واحدًا في آلة التصميم الكونية (أي نظرية واحدة فقط) تلائم جميع الحقائق المعروفة عن العالم، ليس فقط قيم ثوابت الطبيعة، بل أشياء أخرى مثل وجود الحياة والمراقبين. سيكون هذا أمرًا رائعًا بحق! قد يتضح لنا أن هناك نظريات عديدة خالية من المتغيرات الحرة تصف أكوانًا وحيدة ممكنة، لكن واحدة فقط من هذه النظريات «تتوافق مع كافة الحقائق المعروفة عن هذا الكون». بالطبع ستحل هذه النظرية الخيالية لغز جولديلوكس دون الحاجة للجوء لفكرة التصميم أو الكون المتعدد، أليس كذلك؟

لسوء الحظ لن يحدث هذا؛ لأن هذا سيطرح أمامنا لغزًا آخر وهو: لماذا «هذه النظرية» تحديدًا؟ لماذا تلك التي تسمح بكون ملائم للحياة هي «النظرية المختارة»؟ عبر ستيفن هوكينج عن الأمر بفصاحة أكبر حين قال: «ما الذي ينفث النار في المعادلات ويوجد الكون الذي تصفه؟»[27] سنكون إذن مجبرين على تقبل جزء معين من النظرية؛ توصيف رياضي محدد مستقى من عدد لانهائي من الاحتمالات، كأمر «مسلم به»، لا يحتاج لتفسير. وستكون جميع الأكوان التي تصفها النظريات الأخرى غير صالحة للحياة.

وربما لا يوجد سبب وراء اختيار «كوننا المختار» هذا. وفي هذه الحالة سنعود مجددًا إلى لغز جولديلوكس. ما احتمالات أن تصف نظرية مختارة عشوائيًّا كونًا

صالحًا للحياة؟ احتمالات ضئيلة للغاية. هناك الكثير من الأوضاع الثابتة في آلة التصميم الكونية، التي تمثل أكوانًا عديدة ممكنة من الناحية النظرية، خالية من المتغيرات الحرة، قبيحة من الناحية الرياضية، غير صالحة للحياة. ولو كان الاختيار الأساسي قد وقع على أحد هذه الأكوان، لم نكن لنعرف بذلك؛ لأن ذلك الكون سيمضي حياته دون أن يلحظه أو يحتفي به أي مراقبين. لهذا يظل لغز اختيار «هذا الكون تحديدًا» دون حل.[28]

النتيجة التي أخلص إليها من كل هذا هي أن نظرية الكون المتعدد والنظرية المزعومة الخالية من المتغيرات الحرة قد تنجحان بدرجة كبيرة في تفسير جوانب كوننا المادي المختلفة، بيد أنهما تعجزان عن تفسير ملاءمة الكون للحياة أو سبب وجوده من الأساس.

(١١) من أو ما الذي يقرر ما يوجد وما لا يوجد في الكون؟

وصلنا الآن إلى لُب المناقشة بأكملها، المشكلة التي حيرت الفلاسفة وعلماء اللاهوت والعلماء لآلاف السنين:

ما الذي يحدد ما يحتويه الكون؟

من بين الأسئلة الكبرى التي طرحتها في بداية هذا الكتاب يعد هذا السؤال من الأسئلة «الكبيرة» بحق. يحتوي العالم المادي على أشياء، كالنجوم والكواكب والكائنات الحية. لماذا توجد هذه الأشياء بدلًا من أشياء أخرى؟ لماذا ليس الكون مملوءًا، مثلًا، بالجيلي الأخضر المترجرج، أو السلاسل المتشابكة، أو بالأفكار المجردة ...؟ لا توجد حدود أمام ما قد نتخيله هنا. تنشأ نفس الإشكالية حين نتدبر قوانين الفيزياء. لماذا تطيع الجاذبية قانون التربيع العكسي وليس قانون التكعيب العكسي مثلًا؟ لماذا يوجد نوعان من الشحنات الكهربية (الموجبة والسالبة) وليس أربعة؟ وهكذا دواليك. إن اللجوء لفكرة الكون المتعدد لن يفعل شيئًا سوى ترحيل المشكلة لتصير «ولماذا هذا الكون المتعدد تحديدًا؟» كما أن اللجوء لفكرة الكون الأوحد الخالي من المتغيرات الحرة الموصوف من قبل نظرية موحدة سيجعلنا نتساءل: «ولماذا هذه النظرية بعينها؟»

هل هناك مخرج؟ هناك مخرج بالفعل، لكنه صعب. هناك احتمالان وحيدان لما يمكن أن نطلق عليه الحالة «الطبيعية»، التي أعني بها الحالة التي لا تتطلب تبريرًا إضافيًّا ولا تكون عشوائية أو منافية للمنطق. الحالة الأولى هي أن «لا شيء» موجود. هذه الحالة بسيطة بالتأكيد، وأعتقد أنه يمكن، بصورة ما، وصفها بالأنيقة، بيد أنها خاطئة بالتأكيد. الحالة الطبيعية الثانية هي أن «كل شيء» موجود. أعني بهذا أن أي شيء «يمكن أن» يوجد موجود «بالفعل». من الأصعب بكثير إثبات خطأ مثل هذه القناعة؛ فنحن لا نستطيع رصد كل شيء موجود في الكون، وليس انعدام الدليل مساويًا للدليل على العدم. لذا، ليس بوسعنا أن نكون واثقين من أن أي شيء يمكننا تخيله[29] غير موجود بالفعل «في مكان ما»، ربما خارج نطاق أقوى معدات الرصد لدينا أو في كون موازٍ.

(١٢) هل من الممكن أن يوجد «كل شيء»؟

من المناصرين المتحمسين لهذه الفرضية الجامحة ماكس تجمارك.[30] كان تجمارك يتفكر في أحجية «نفث النار» التي ناقشتها بالأعلى (وهو على الأرجح يحتسي بضع كئوس من الشراب في الحانة). وهو يتساءل: «إذا كان الكون مبنيًّا على أساس رياضي بحت، فلماذا اختيرت بنية رياضية وحيدة من بين البنى العديدة المتاحة لوصف الكون؟ يبدو أن هناك تناظرًا جوهريًّا موجودًا في قلب الواقع.» ولاستعادة هذا التناظر بشكل تام والتخلص من فكرة الاختيار اقترح تجمارك أن «كل بنية رياضية تتوافق مع كون موازٍ». وبهذا نكون بصدد شكل أكثر تعقيدًا لفكرة تعدد الأكوان، فبالإضافة إلى الكون المتعدد «المعتاد» الذي وصفته بالفعل، والمتكون من فقاعات أخرى في الفضاء ذات قوانين فيزياء مختلفة، سيكون لدينا ما هو أكثر من ذلك: «أن عناصر هذا الكون المتعدد [الأكثر اتساعًا] لا تقع في نفس الفضاء، بل خارج حدود الزمان والمكان. وأغلب هذه الأكوان المتعددة تخلو من المراقبين.»[31]

يعطينا تجمارك توضيحًا للبنية الرياضية التي يفكر فيها، إذ يقول: «ماذا عن الزمان الذي يأتي على مراحل متقطعة، مثلما هو الحال في الحاسبات الآلية، ولا يسير بصورة متواصلة؟ ماذا عن كون هو ببساطة شكل اثني عشري السطوح خاوٍ؟»[32] أيضًا تفكر تجمارك في الأبعاد الكسرعشرية؛ أي البنى الرياضية التي تحوي كسورًا من الأبعاد (على سبيل المثال تحتوي على ثلاثة أبعاد وثلث البعد)

والأبعاد اللانهائية غير المنتظمة.[33] ستوجد أيضًا أكوان متناثرة ستكون مجموعة من النقاط التي لا يوجد بينها أي تواصل وأكوان أخرى تحتوي على أجسام يمكن عدها، لكن لن يتساوى فيها حاصل العملية ٣ × ٤ مع حاصل العملية ٤ × ٣. بعض الأكوان قد تسمح بـ «الحوسبة الفائقة»؛ أي القدرة على حل المسائل الرياضية التي تحتاج إلى عدد لانهائي من الخطوات في كوننا. يتدبر علماء الرياضيات هذه الأنواع من النظم طوال الوقت، ويكتبون عنها أبحاثًا علمية بوصفها فروعًا للنظرية الرياضية. يقترح تجمارك أن هذه النظم موجودة بالفعل في الواقع؛ في مكان ما.

رد الفعل المبدئي حيال فكرة تجمارك عن الكون المتعدد «الذي فيه كل شيء ممكن»[34] أنها معقدة بشكل مذهل وتخرق خرقًا فاضحًا أهم المبادئ العلمية؛ مبدأ شفرة أوكام (الذي يقضي بأن التفسير الأبسط هو التفسير الأكثر ترجيحًا). لكن تجمارك يوضح أن «كل شيء» أبسط في الحقيقة من «بعض» الأشياء؛ بمعنى أنه من الأبسط أحيانًا تفسير الكل عن تفسير أجزائه. من الأمثلة الملموسة على ذلك كرة البلور اللانهائية. فكرة البلور اللانهائية المثالية تتكون من شباك منتظمة ذات شكل موحد من الذرات التي لا تحدها أية حدود. من الممكن أن توصف بنيتها بالكامل فقط بتحديد المسافة الفاصلة بين الذرات المتجاورة، واتجاهها العام، ثم التصريح بأن شبكة الذرات ليست لها حدود. الآن تخيل أننا أزلنا من هذه الكرة البلورية اللانهائية المثالية مجموعة عشوائية من الذرات، مع الحفاظ على الترتيب ثلاثي الأبعاد للمجموعة المزالة والجزء المتبقي. في هذه الحالة تكون المجموعة الأصلية من الذرات قد انقسمت إلى مجموعتين فرعيتين محددتين تحديدًا عشوائيًا. عندئذٍ لا يمكن بطبيعة الحال وصف أي مجموعة منهما من واقع أي عدد من المعلومات أقل مما تحويه المجموعة نفسها.[35] على سبيل المثال، إذا أزلت مليون ذرة بشكل عشوائي فسيتعين عليك أن تحدد مليون معلومة مختلفة لحصر هذه العملية. وبهذا تكون كل مجموعة فرعية جسمًا معقدًا يحتاج قدرًا كبيرًا من المعلومات لوصفه. لكن لو أعدت المجموعتين الفرعيتين لوضعهما السابق فستحصل على شيء بسيط للغاية ويسهل وصفه.

مع ما قد يبدو في اقتراح تجمارك من وجاهة فإنه لا يخلو من المشكلات. إن فكرة «كل شيء» يصعب تصورها في الرياضيات، وذلك بسبب إمكانية وجود المجموعات ذاتية المرجعية. ترتبط هذه الفكرة بمشكلة معروفة كامنة بداخل الأسس الرياضية المنطقية، مثل متناقضة الحلاق لبرتراند راسل: يحلق حلاق

القرية شعر كل الرجال الذين لا يحلقون شعورهم بأنفسهم، فمن يحلق إذن شعر الحلاق نفسه؟ إذا كان الحلاق يحلق شعره، فهو إذن ينتمي لمجموعة الأشخاص الذين لا يحلق لهم الحلاق، لذا فهو لا يحلق لنفسه. ولو لم يحلق شعره فهذا يعني أنه من المجموعة التي يحلق لها الحلاق! في كلتا الحالتين نحصل على هراء متناقض. هذا اللغز البسيط ليس الهدف منه التسلية وحسب؛ إذ إنه يضرب بجذوره في قلب الاتساق الرياضي نفسه ويلغي أي محاولة ولو بسيطة لتعريف الرياضيات في ضوء مجموعات من الأجسام التي تطيع مجموعة من القواعد. وهنا تتهدد حتى أبسط قواعد الحساب الأساسية.[36]

الاعتراض الثاني على فكرة تجمارك: هو أنها مصاغة بصورة رياضية. ليس هذا، بالطبع، مستغربًا من جانب نظرية وضعها فيزيائي رياضي، وهي مدعومة باكتشاف أن الطبيعة في حقيقتها ذات شكل رياضي. لكن إذا دخلنا منطقة «كل شيء ممكن»، فلن يكون هناك ما يدعونا للاقتصار على الرياضيات. وإذا اقتصرنا على الرياضيات فسيستتبع هذا السؤال: لماذا الكون المتعدد رياضي؟ ومن الذي يحدد ذلك؟ وبالتأكيد يكون بمقدورنا تخيل كون متعدد يكون محددًا بوسائل أخرى. على سبيل المثال، مجموعة الأكوان المُرضية من الناحية الجمالية، ومجموعة الأكوان الطيبة أو الشريرة، ومجموعة الأكوان الافتراضية. وحتى داخل نطاق الرياضيات العام يمكننا التشكك في قواعد المنطق الأساسية التي تُبنى عليها المعادلات الرياضية ونتفكر في كون تكون فيه الأجسام مستقاة من أشكال المنطق الممكنة كافة. وإذا آمنت بحق بأن كل شيء يوجد فمن المفترض لهذه الأشكال الأخرى من الكون أن توجد هي أيضًا.

ربما هي موجودة بالفعل؟ قليل من الأشخاص يرغبون في اتباع منطق تجمارك إلى نهايته. إن أغلب العلماء، حتى من يؤمنون بوجود شكل من تعدد الأكوان، لا يجرءون على افتراض أن كل شيء موجود. وهذا يعود بنا مجددًا إلى المشكلة الأساسية التي واجهناها في بداية هذا القسم: ما الذي يقرر ما هو موجود؟

(١٣) أصل القاعدة التي تفرق بين ما هو موجود وما ليس موجودًا

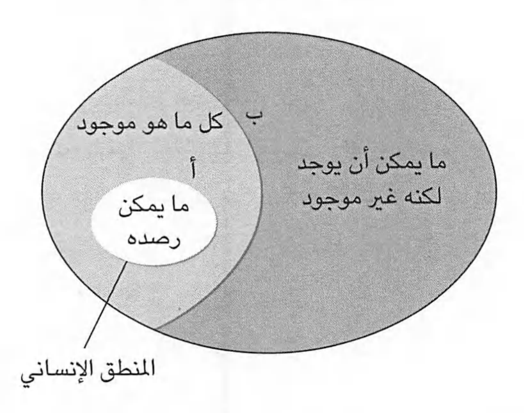
إذا لم يكن بالإمكان وجود كل شيء فلا بد من وجود توصيف أو قاعدة تحدد كيف يمكننا التفريق بين ما هو «حقيقي» وما هو «ممكن لكنه في الحقيقة غير

موجود». وهنا يبرز السؤال الحتمي: ما القاعدة التي تفصل بين الاثنين؟ ما الذي يحدد ما يوجد بالفعل ويفصله عما كان يمكن أن يوجد لكنه غير موجود؟ من بين كل الكيانات الممكنة التي ليس لها تفسير، ينزع شيء ما «مجموعة فرعية»، ويمنح «أفرادها» ميزة الوجود. شيء ما «ينفث النار في المعادلات» ويخلق كونًا أو أكوانًا تصفها هذه المعادلات. غير أن اللغز لا ينتهي عند هذا الحد؛ فنحن لا نحتاج هنا فحسب إلى تحديد «ذلك الشيء الذي ينفث في النار» ليجعل ما يمكن أن يوجد موجودًا بالفعل، ولكن علينا أيضًا التفكر في أصل القاعدة نفسها، القاعدة التي تحدد ما يوجد وما لا يوجد. من أين أتت هذه القاعدة؟ ولماذا تنطبق هذه القاعدة تحديدًا وليس غيرها من القواعد؟ باختصار، كيف انتقيت العناصر الصالحة؟ والآن، ألا يردنا ذلك إلى تنويعة أخرى من فكرة الكيان «المصمم» أو «الخالق» أو «المختار»؛ كيان ضروري يختار «القاعدة» و«ينفث النار» فيها؟

يلخص الشكل ٩-١ هذه الفكرة، وهو يبين ثلاث مجموعات يفصلها حدان، «أ» و«ب». المنطقة الأفتح لونًا، التي يحدها الحد أ، تضم جميع الأشياء التي يمكن للمراقب أن يرصدها بشكل نظري. يمكن أن تكون هذه المجموعة جزءًا — مجموعة جزئية — من مجموعة كل ما هو موجود، التي يحدها الحد ب. خارج المجموعة الأفتح لونًا، لكن في إطار الحد ب توجد، مثلًا، الأكوان التي لا تحتوي على حياة أو مراقبين. المنطقة الداكنة خارج الحد ب هي مجموعة الأشياء التي يمكن نظريًّا أن توجد، لكنها في الواقع لا توجد. اتحاد هذه المجموعات الثلاث يكون مجموعة لكل الأشياء المحتمل وجودها منطقيًّا؛ أي كل ما يمكن من الناحية النظرية أن يوجد.

لنر الآن كيف ترتبط المحاولات الثلاث لتفسير الكون بهذه المجموعات. لنتدبر أولًا نظرية كل شيء الخالية من المتغيرات الحرة: تدعو هذه النظرية، بوضوح، إلى أن الحد أ غير موجود بالأساس؛ وأن هناك كونًا واحدًا وحسب — كوننا المرصود (انظر الشكل ٩-٢). هذه النظرية لا تضع في الاعتبار فكرة وجود «أكوان أخرى» لا يمكن رصدها بسبب كونها غير ملائمة للحياة، لذا لا وجود للحد أ. لسوء الحظ لا يزال الحد ب موجودًا. وليس عند نظرية كل شيء ما تقوله بشأن الحد ب؛ إذ إنه يظل لغزًا.

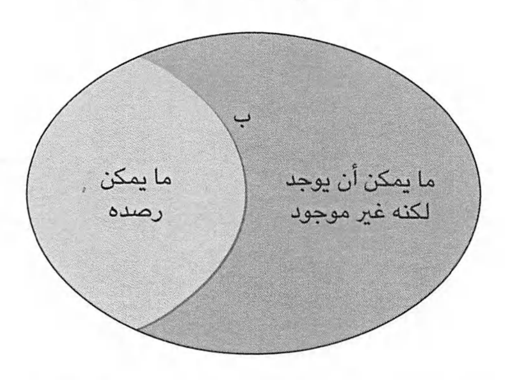
ماذا عن نظرية الكون المتعدد؟ يوافق مناصروها على وجود الحد أ، وهم يلجئون للمبدأ الإنساني، أو تأثير انتخاب المراقبين، لتفسير حجمه وشكله (بصرف النظر عما يكونان، إذ إننا لا نعرف بعد). ومجددًا، لا تساعدنا هذه النظرية على



شكل ٩-١: **الوجود باختصار.** تصوير تخطيطي لكل ما يمكن من الناحية النظرية أن يوجد. هناك فارق بين ما يوجد «بالفعل»، وما «يمكن أن» يوجد لكنه غير موجود. داخل المجموعة الأولى مجموعة جزئية صغيرة، تتكون من كل ما يمكن من الناحية النظرية رصده. خارج هذه المجموعة الجزئية هناك أشياء أخرى موجودة بالفعل لكنها غير قابلة للرصد (على سبيل المثال أكوان أخرى لا تسمح بالحياة). يمكن أن ينطبق المنطق الإنساني على الحد أ، وذلك لتفسير لماذا نرصد الكون القابل للحياة، لكن لا يمكن تطبيقه على الحد ب (لتحديد القاعدة التي تفرق بين ما «يمكن أن» يوجد وما يوجد «بالفعل»).

رسم حد المجموعة الثانية، الحد ب؛ ذلك الذي يفصل بين مجموعة كل ما يوجد «بالفعل» ومجموعة كل ما «يمكن أن» يوجد لكنه غير موجود. الحد ب بعيد عن متناول المنطق الإنساني. قد تستطيع نظرية تعدد الأكوان/النظرية الإنسانية تفسير سبب ملاءمة الكون للحياة، بيد أنها بكل تأكيد ليست نظرية كاملة للكون، مهما كثرت المزاعم التي تدعو لذلك، فهي لا تزال تترك الكثير من الأمور دون تفسير، منها على سبيل المثال، أننا لا نزال بحاجة لأن نعرف ما الذي يرسم الحد ب. وفقًا لتجمارك، لا وجود للحد ب، وبموجب هذا المنطق تكون مجموعة كل ما هو موجود هي نفسها مجموعة كل ما يمكن أن يوجد (انظر الشكل ٩-٣). لكن كم عدد المستعدين للمخاطرة بالذهاب لهذا الحد؟ عندما يتعلق الأمر بالوجود يعتقد أغلب الناس أن بعض الأشياء غير موجودة، لكن ما هي؟ ولماذا هذه الأشياء تحديدًا؟

النظرية الثالثة تقضي بوجود نوع من الانتخاب الإلهي. وبصورة عامة تقضي هذه النظرية بأن هناك إلهًا، أو مجموعة آلهة، يضعون الحدين «أ» و«ب». وفي

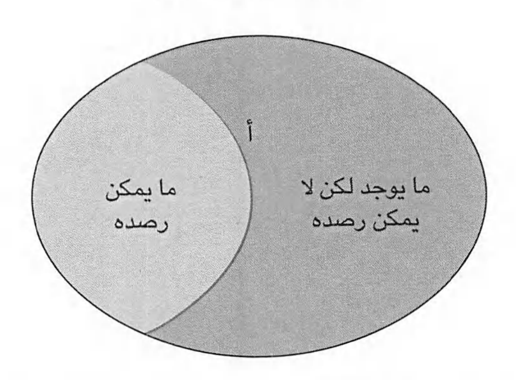


شكل ٩-٢: **ماذا لو أن هناك كونًا واحدًا فقط؟** كما في الشكل ٩-١، يبين هذا الشكل كل ما يمكن أن يوجد من الناحية النظرية. يأمل بعض الفيزيائيين في وجود كون واحد فقط يتوافق مع نظرية فائقة نهائية موحدة رياضيًّا (على سبيل المثال، النظرية M) وأن ما نرصده هو هذا الكون. (قد لا نكون قادرين على رصده كله في الوقت ذاته، لكن ما نعجز عن رصده في الوقت الحالي هو من نفس نوعية الأشياء التي نرصدها بالفعل.) ومع ذلك لا تفسر نظرية كل شيء المتفردة رياضيًّا هذه لماذا «هذا» الكون هو الموجود، وليس أي كون آخر من الأكوان الممكنة منطقيًّا التي «لم تُنفَث فيها النار»، على سبيل المثال الأكوان التي تصفها نظريات موحدة أخرى لا تتفق مع حقائق الرصد الخاصة بكوننا، والمبينة هنا بالمنطقة الداكنة على الجانب الآخر من الحد ب.

الديانة المسيحية يسمو الخالق فوق مجموعة كل الموجودات أو يحتويها كمجموعة فرعية. ولكن الآن يظهر لغز آخر وحد جديد؛ ذلك القائم بين الإله الموجود بالفعل ومجموعة كل الآلهة المحتملة الأخرى.[37]

(١٤) معضلة السلحفاة

هناك قصة شهيرة (ينسبها البعض لبرتراند راسل، فيما ينسبها آخرون إلى الفيلسوف الأمريكي الذي عاش في القرن التاسع عشر ويليام جيمس) وقعت إبان محاضرة عن طبيعة الكون؛ فبعد انقضاء جزء من المحاضرة وقفت امرأة في الصفوف الخلفية لتخبر المحاضر بأنها «تعرف» بالفعل كيف يتألف الكون: فالأرض موضوعة على ظهر فيل عملاق، يقف على ظهر سلحفاة عملاقة. سألها المحاضر المرتبك عما تقف عليه هذه السلحفاة، فأجابته المرأة: «قد تكون بارعًا

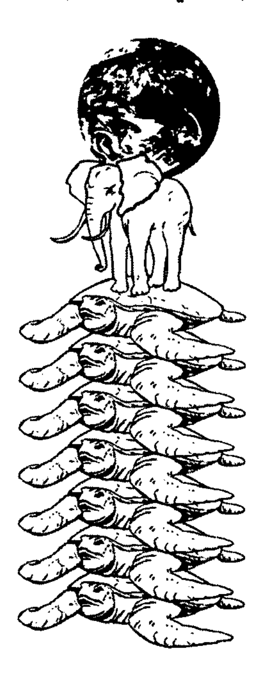


شكل ٩-٣: **كون تجمارك «الذي فيه كل شيء ممكن»**. يرى ماكس تجمارك أن كل شيء يمكن أن يوجد موجودٌ بالفعل؛ بمعنى أن جميع الأكوان الممكنة من الناحية المنطقية التي تصفها جميع البنى الرياضية الممكنة هي بالفعل موجودة في مكان ما. يمكن استخدام المنطق الإنساني لتحديد المجموعة الجزئية (ضئيلة الحجم!) من الأكوان القابلة للرصد (المنطقة فاتحة اللون). أما بقية الأكوان، الموجودة على الجانب الآخر من الحد أ، فهي تضم كل الأشياء التي يمكن أن توجد، بل توجد بالفعل، لكنها تمضي دون رصد.

أيها الشاب، لكنك لن تخدعني، فالسلحفاة تقف على عدد لانهائي من السلاحف!» (انظر الشكل ٩-٤).

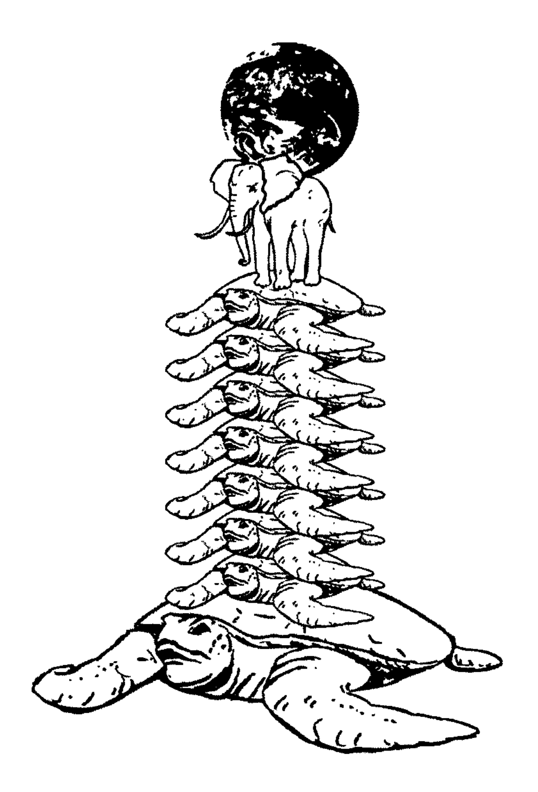
تصف هذه القصة الطريفة معضلة لا مهرب منها تواجه أي محاولة لتوصيف الواقع: أين تنتهي سلسلة التفسيرات؟ فمن أجل «تفسير» شيء ما، بالشكل المعروف، لا بد أن تبدأ من مكان ما. ولتفادي النكوص اللانهائي — برج السلاحف الذي لا قاع له — عليك في نهاية المطاف أن تقبل بشيء كأمر «مسلم به»؛ شيء يقر الآخرون بصحته دون الاحتياج لتفسير. عند إثبات صحة نظرية هندسية، مثلًا، يبدأ المرء ببديهيات الهندسة،[38] والمقبولة بوصفها حقائق مثبتة وتستخدم بعد ذلك لاستنتاج النظرية ببرهان منطقي يسير خطوة بخطوة. بالعودة إلى تشبيه السلاحف تمثل بديهيات الهندسة سلحفاة عملاقة طافية في الهواء؛ سلحفاة قادرة على الوقوف وحدها دون أي مساعدة خارجية (انظر الشكل ٩-٥). نفس المنطق ينطبق على سعينا للعثور على التفسير النهائي للوجود المادي.

المشكلة هنا أن ما قد يراه أحدهم حقيقة نهائية راسخة قد يراه آخر بوصفه أضحوكة. إن العلماء الذين يتحرقون للتوصل إلى نظرية لكل شيء خالية من المتغيرات يتقبلون معادلات هذه النظرية (النظرية M على سبيل المثال) بوصفها



شكل ٩-٤: **سلاحف بلا نهاية!** يوضح هذا التشبيه الساخر فكرة النكوص اللانهائي التي فيها يُفسَّر العالم المادي من خلال حقيقة أعمق، والتي بدورها تُفسَّر من خلال حقيقة أخرى أعمق، والتي ...

السلحفاة العملاقة المحلقة في الهواء، وهذه هي نقطة البداية لهم. لا بد من قَبول هذه المعادلات كأشياء «مسلم بصحتها» واستخدامها كأساس غير مُفسَّر من أجل بناء توصيف كامل للوجود المادي. أما أنصار فكرة الكون المتعدد (باستثناء تجمارك على الأرجح) فيتقبلون مجموعة من الأعاجيب، منها وجود آلية لتوليد الأكوان، وميكانيكا الكم، والنسبية، ومجموعة من المتطلبات الفنية بوصفها الأساس الذي لا يحتاج لتفسير. لكن علماء الديانات التوحيدية يرون في الإله كيانًا ضروريًّا، ويعطونه دور السلحفاة العملاقة السابقة. كل معسكر من هذه المعسكرات الثلاثة غير مقتنع بالأساس الذي يتبناه المعسكران الآخَران. خلاصة الأمر أنه لا يوجد حل منطقي لهذه المعضلة؛ لأنه في نهاية المطاف لا بد من قبول هذه الفكرة أو غيرها على أساس الإيمان، ومن الحتمي أن يعكس الاختيار تحيز المرء الثقافي.[39] فلا يمكنك استخدام العلم لإثبات عدم وجود الله، ولا يمكنك استخدام الدين لإثبات عدم وجود القوانين المادية الأساسية.



شكل ٩-٥: **السلحفاة العملاقة!** لتفادي مشكلة النكوص اللانهائي (برج السلاحف الذي لا قاع له كما يظهر في الشكل ٩-٤)، يمكن أن نفكر في وجود سلحفاة عملاقة محلقة في الهواء، تكون مفسرة وداعمة لذاتها. يطلق علماء الأديان على هذه السلحفاة اسم «الكيان الضروري»، وحاول بعضهم إثبات وجود هذا الكيان. وقد دعا بعض العلماء أيضًا إلى وجوب وجود نظرية متفردة موحدة فائقة.

(١٥) أشخاص كثيرون يرون أن الكون ليس إلا عبثًا

يمكن إرجاع معضلة السلاحف إلى طريقتنا المعتادة في التفكير. إن البحث العلمي بأسره مبني على افتراض أن هناك «أسبابًا» تفسر كون الأشياء على ما هي عليه، فالتفسير العلمي لأي ظاهرة هو برهان منطقي يربط الظاهرة بشيء آخر أعمق وأبسط، وهذا الشيء الآخر بدوره مرتبط بشيء آخر أعمق، وهكذا. على سبيل المثال، يُفسَّر تغير أوجه القمر من الهلال إلى البدر ثم العودة للهلال مرة أخرى من واقع حركة الأجسام في النظام الشمسي، التي تُفسَّر بدورها من خلال قوانين

نيوتن، والمدرجة بدورها في نظرية النسبية العامة لأينشتاين، والتي (كما يؤمل) سيتضح يومًا ما أنها جزء من نظرية للجاذبية الكمية على غرار نظرية الأوتار. بالعودة إلى امتداد سلسلة التفسيرات (أو النزول إلى السلاحف الأدنى) سنرى أن هناك أسبابًا منطقية وراء تغير أوجه القمر، لكن حين نصل إلى النظرية النهائية المفترضة (السلحفاة العملاقة)، ماذا سيحدث عندئذٍ؟ يمكن أن نتساءل: لماذا هذه النظرية الموحدة «بعينها» وليست نظرية أخرى؟ لماذا نظرية موحدة تسمح بوجود قمر؟ لماذا نظرية موحدة تسمح بوجود علماء عاقلين يمكنهم رصد القمر؟ من الإجابات التي يمكن إعطاؤها وقتها هي أنه لا يوجد سبب، وأن النظرية الموحدة لا بد أن تُعامَل على أنها «النظرية الصحيحة وحسب»،[40] وأن اتساقها مع وجود قمر أو مراقبين أحياء ليس أكثر من مصادفة مواتية من الناحية المنطقية. إذا كان الحال كذلك فهذا يعني أن النظرية الموحدة — أساس الواقع المادي بأسره — موجودة «دون سبب على الإطلاق». وأي شيء يوجد دون سبب يعد عبثًا. مطلوب منا إذن أن نقبل بأن صرح التفكير العلمي — النظام الرياضي للكون — مبني في نهاية المطاف على محض عبث! لا يوجد سبب على الإطلاق يفسر قدرة سلحفاة العلم العملاقة على الوقوف بنفسها دون الارتكان على شيء آخر.

تأتينا إجابة مختلفة على مثل هذه الأسئلة من نظرية الكون المتعدد. إن نقطة البدء لهذه النظرية ليست مجموعة فريدة اعتباطية من القوانين الموحدة، التي يتصادف أنها ملائمة للحياة دون أي تفسير، بل نطاقًا واسعًا متنوعًا من القوانين، تُفسَّر فيها الملاءمة للحياة في ضوء تأثير انتخاب المراقبين. لكن ما لم نتبنَّ فكرة «أي شيء ممكن» التي دعا إليها تجمارك، ستظل لدينا سلحفاة عملاقة غير مفسَّرة على صورة شكل معين للكون المتعدد مبني على آلية معينة لتوليد الأكوان مع كل ما يصاحبه من ملحقات. وبهذا يحتفظ الكون بسمتي العبث والعشوائية، فالسلحفاة العملاقة موجودة هنا أيضًا دون سبب، وهذا يجعل النظرية في نهاية المطاف عبثًا هي الأخرى.

وقد كان أمام علماء الأديان في الديانات التوحيدية، الذين يقوم الإله عندهم بدور السلحفاة العملاقة، متسع من الوقت للتفكير في هذه المشكلة. وهم يرون، أو على الأقل بعضهم، أن معضلة أن ينتهي كل شيء إلى محض عبث يمكن التصدي لها باعتبار أن الإله كيان ضروري. وكما أوضحت في موضع

سابق من هذا الفصل، فهذه محاولة (فاشلة بكل وضوح) لوصف آلية «قائمة بذاتها» — فكرة أن الإله يفسر وجوده — بدونها سنعود مباشرة إلى العشوائية واللاسببية والعبث: إذا كان الإله موجودًا دون سبب، فإن تفسير علماء الأديان يصبح عبثًا هو الآخر. ولكن أيًا كان ما يحيط بفكرة الكيان الضروري من شك وريبة، فإن علماء الأديان على الأقل قد حاولوا جاهدين أن يفسروا «كيف» تسبح السلحفاة العملاقة في الهواء، بدلًا من ادعاء أن هذا إنما يحدث دون سبب على الإطلاق.

(١٦) ينبغي أن يكون التفسير النهائي للكون بسيطًا

من الجلي أن التفسيرات الثلاثة التي ناقشتها إلى الآن تتطلب منا أن نتقبلها استنادًا على الإيمان. لكن كيف نفاضل بينها؟ من المعتاد هنا اللجوء لاختيار أبسط التفسيرات. يعتمد مارتن جاردنر على هذا المبدأ كي يفضل فكرة التصميم عن الكون المتعدد حيث يقول: «بالطبع القول بوجود كون واحد له خالق أبسط وأيسر في التصديق عن القول بوجود مليارات لا حصر لها من العوالم.»[41] يتفق عالم اللاهوت ريتشارد سوينبورن مع هذا الرأي ويفضل فكرة التصميم عن فكرة الكون المتعدد غير المفسَّر أو الكون ذي الترتيب الوحيد.[42] إلا أن ريتشارد دوكنز يستخدم نفس المبدأ بصورة معاكسة، إذ يقول: «فكرة التصميم هي الأكثر تعقيدًا!»[43] من الظاهر، قد يبدو أن لدوكنز وجهة نظر، إلا أن نفس هذا الانتقاد يمكن توجيهه لفكرة الكون المتعدد اللانهائي، الذي يتطلب كمًّا مهولًا من المعلومات التي لا يمكن التحقق منها من أجل تحديده.[44] هنا يميل البعض لتفضيل نظرية الكون المتفرد الخالي من المتغيرات الحرة، إن كان لمثل هذه النظرية وجود، إذا اتضح بالفعل — وهناك شك كبير في ذلك — أنها تقدم توصيفًا بسيطًا أنيقًا للكون، وليس خليطًا قبيحًا من الرياضيات المعقدة.

من الواضح، كما عرضت في هذا الفصل، أن المحاولات الثلاث لتفسير العالم بشكل تام، اثنتان منها علمية والثالثة دينية، تصل جميعها في النهاية إلى طريق مسدود، وتقتضي قبول شيء خطير على أساس الإيمان وحده. هل هذا أقصى ما يمكن الوصول إليه؟ هل وصلنا لآخر تخوم التفكير المنطقي؟ لا أعتقد هذا. حاولت في هذا الكتاب تفسير سبب ملاءمة الكون للحياة، لكنني الآن أريد أن ألقي نظرة

أعمق على الجزء الخاص بالحياة: في مناقشاتنا إلى الآن كانت الحياة والمراقبون يلعبون دورًا سلبيًا بالكامل، ففي نظرية الكون المتعدد، مثلًا، هم يوجدون في هذا الكون وليس في غيره، ومن ثم — دون أن يفعلوا شيئًا غير ما يفعلوه عادة، أي العيش والملاحظة — يكونون هم التفسير المزعوم لملاءمة هذا الكون للحياة. وما دامت الحياة والعقل عوملا بهذه الصورة؛ كنتاج ثانوي عرضي للطبيعة، فسيظل لغز الوجود مستعصيًا على الفهم، على الدوام. ومع ذلك فهناك سبيل آخر يمكن استكشافه؛ سبيل لا يُنظر فيه إلى الحياة والعقل كأمور سلبية مسلم بها، بل هي تلعب دورًا نشطًا في تفسير الوجود.

النقاط الأساسية

هذا الفصل يحتوي من آراء الكاتب الشخصية على قدر أكثر من الفصول السابقة.

- من بعض الجوانب، مثل قابلية الكون العجيبة لاستضافة الحياة، يبدو أنه مصمم. وبعض الناس يقترحون أنه كذلك بالفعل. غير أن فكرة اللجوء إلى مصمم فائق لها مشكلاتها الفلسفية التي لم تحل بعد من قبيل طبيعة ذلك المصمم، وأصله، وتفرده، وضرورته، وعلاقته بالزمن.
- من المهم التفريق بين مفهوم التصميم في قوانين الفيزياء ومفهومه في الأجسام أو النظم، مثل الكائنات الحية. لمظهر التصميم في الكائنات الحية تفسير علمي قابل للاختبار مبني على نظرية النشوء والارتقاء لداروين.
- يمكن تفسير مظهر التصميم في القوانين من خلال فرضية الكون المتعدد ذي الانتخاب «الإنساني»، إلا أن نظرية الكون المتعدد ليست تفسيرًا كاملًا للوجود لأنها لا تزال بحاجة لبعض قوانين الفيزياء غير المفسَّرة.
- يعلق بعض العلماء آمالهم على «نظرية لكل شيء» متكاملة تفسر الكون دون اللجوء لفكرة انتخاب المراقبين. إذا صح وجود هذه النظرية فستكون ملاءمة الكون للحياة محض مصادفة سعيدة. ومع ذلك فهناك شك كبير في وجود نظرية واحدة نهائية.
- ما لم يكن كل ما يمكن وجوده موجودًا بالفعل، فسيظل هناك عامل غير مفسَّر يفصل ما هو موجود عما ليس موجودًا.

- لتجنب النكوص اللانهائي (برج السلاحف)، لا بد من قبول شيء ما على أساس الإيمان، حتى في التفسيرات العلمية، لكن ينبغي أن يكون هذا الشيء بسيطًا قدر الإمكان.
- لم تنتهِ رحلتنا بعد!

الفصل العاشر

كيف أتى الوجود؟

(١) هل الحياة مكتوبة في قوانين الكون؟

منذ سنوات قلائل لخص ستيفن هوكينج وجهة النظر السائدة بين العلماء حيال وضعية الحياة في الكون بقوله: «ما الجنس البشري إلا نفاية كيميائية على كوكب متوسط الحجم.»[1] أغلب الفيزيائيين وعلماء الكونيات سيتفقون مع هوكينج في أن الحياة ليست إلا زينة تافهة عرضية للعالم المادي، دون أن يكون لها أي أهمية على المستوى الكلي للكون، لكن على الدوام وجدت تلك القلة من العلماء الذين يرون أن الحياة ليست نتاجًا ثانويًّا عرضيًّا للطبيعة، بل هي جزء مهم في قصة الكون.

يبدو أن المبدأ الإنساني يُعلي الحياة والعقل إلى مرتبة خاصة في الطبيعة. لكن على النحو الذي وصفته إلى الآن — كآلية انتخاب سلبية في الكون المتعدد — لا يتجاوز دور الحياة أكثر من كونها إجراءً إحصائيًّا ضروريًّا، وعادة ما يشار لهذا ب «المبدأ الإنساني الضعيف». حين قدم براندون كارتر هذا المصطلح منذ ثلاثين عامًا تدبر أيضًا فكرة «المبدأ الإنساني القوي».[2] وفي وقت لاحق توسع جون بارو وفرانك تيبلر في هذا المبدأ.[3] بصورة عامة تؤكد النسخة الأقوى من المبدأ الإنساني على أن الكون «يجب» أن يتشكل بصورة تسمح بوجود المراقبين في مرحلة ما من تطوره. بعبارة أخرى، إن قوانين الفيزياء وتطور الكون من الحتمي بشكل ما أن تعمل على إيجاد الحياة والعقل. لا يمانع المبدأ الإنساني القوي في وجود العديد من الأكوان، لكنه ينص على أن الأكوان التي ليست بها حياة أو مراقبون ليس لها وجود. وبهذه الصورة تُعامَل الحياة بوجه عام، والمراقبون الواعون بشكل خاص، كآلية انتخاب نشطة.

اقترح عدد من العلماء البارزين نفس الفكرة الأساسية، سواء بشكل واضح أو ضمني. على سبيل المثال، يقول فريمان دايسون: «ونحن ننظر إلى الكون ونتعرف على الحوادث العديدة للفيزياء والفلك التي عملت معًا من أجل صالحنا، يبدو من المؤكد أن الكون كان يعرف بطريقة ما أننا قادمون.»[4] وبالمثل، يقول عالم الأحياء في كامبريدج سايمون كونواي موريس: «يمكن القول إنه منذ بدء الكون وحتمية ظهور الذكاء مغروسة فيه.»[5]

يَلْقى المبدأ الإنساني القوي بعض الدعم من الاعتقاد المنتشر بأن ظهور الحياة حتمي بصورة ما؛ لأنه «مغروس» في قوانين الفيزياء. يصف عالم الأحياء الحاصل على جائزة نوبل كريستيان دي دوف الكون بأنه «مفعم بالحياة» ويطلق على الحياة «الحتمية الكونية».[6] ويؤكد عالم الفيزياء الحيوية ستيوارت كاوفمان على ما يقوله فريمان دايسون بقوله: إن «الكون هو موطننا الطبيعي.»[7] إن ما يقع خلف برنامج البيولوجيا الفلكية الطموح الذي تموله ناسا وغيرها من المؤسسات، ومشروع SETI (اختصارًا لـ Search for Extra-Terrestrial Intelligence) الذي يهدف إلى العثور على أدلة على وجود كائنات ذكية خارج كوكب الأرض، هو الافتراض بأن الحياة ليست بظاهرة استثنائية مقصورة على كوكب الأرض، بل هي نتاج حتمي ومنتشر للقوانين المادية التي تتوافق في جوهرها مع علم الأحياء. بعبارة أخرى، ليست الحياة نتاجًا ثانويًّا عشوائيًّا للطبيعة، بل هي جانب جوهري من نظام عمل الكون. تحظى هذه النظرية بقبول واسع، لكن هل تحظى بالمصداقية؟

(٢) النظر إلى الحياة بجدية

يستخدم العلماء الصفة «جوهري» لوصف أي شيء يمس قلب الطبيعة، ويعتمد عليه فهمنا الأوسع للعالم المادي اعتمادًا أساسيًّا. على سبيل المثال، تعد الإلكترونات والكواركات من الجسيمات الجوهرية؛ لأنها تلعب دورًا أساسيًّا في تفسير طبيعة المادة دون الحاجة لمستوى أعمق من البنية. وبالمثل، تعد قوة الجاذبية من القوى الجوهرية؛ لأنها تساعد في تشكيل بنية الكون. من الأشياء الجوهرية أيضًا الفضاء والزمان؛ لأسباب لا تخفى على أحد. هذه الأمثلة قد لا تغطي «أكثر» الكيانات جوهرية في الطبيعة، لكنها بكل تأكيد أكثر جوهرية من المطر أو الصخور أو الصمغ مثلًا؛ إذ إنه يمكن وصف هذه الأشياء الأخيرة بوصفها جوانب عرضية

للعالم فقط، وأن خصائصها تنبع من خصائص كيانات أخرى أكثر جوهرية. ومع أنها قد تهمنا في الحياة اليومية (هل ستمطر؟ هل سينفتح المظروف؟ ...) فسيكون من الحماقة أن نعزو لها أي أهمية كونية. إن الكيان الجوهري بحق لا يمكن وصفه باستخدام شيء آخر أعمق أو أبسط أو «أكثر جوهرية». قد تتباين الآراء، بطبيعة الحال، حول ما يمكن أن يعد من الأشياء الجوهرية بحق. اعتاد الفيزيائيون النظر إلى الإلكترونات بوصفها من الأشياء الجوهرية، لكن اليوم يضع العديدون الأوتار في هذا الدور الأعمق، معتبرين الإلكترونات ليست إلا تجسيدًا لنشاط الأوتار. السؤال المطروح أمامنا، إذن، هو: هل بالإمكان اعتبار الكائنات الحية، بصورة ما، جوهرية، ومن ثم ذات معنى مهم، أم الاكتفاء بالنظر إليها بوصفها تأثيرات جانبية عرضية، ومن ثم غير مهمة، للعبة الأساسية؟

منذ مائتي عام: كان علماء كثيرون مقتنعين بالنظر إلى الحياة كظاهرة جوهرية؛ لأنهم كانوا يؤمنون بوجود قوة حياة أو جوهر من نوع ما مسئول عن السمات الاستثنائية التي تظهرها الكائنات الحية. «عامل الحياة» هذا لم يكن من المفترض تفسيره من خلال شيء أعمق، لكن كان يُقبل بوصفه سمة أساسية يُسلم بها في علم الأحياء. لكننا نعلم اليوم أنه لا وجود لقوة الحياة هذه، وأن الكائنات الحية آلات، وأنها تظهر سماتها الاستثنائية بفضل التعقيد العظيم الذي تتمتع به.

ما يجعل الحياة شيئًا خاصًا ليس ما تتألف منه، بل ما تفعله من أشياء. يصعب تعريف الحياة بدرجة كبيرة، إلا أنها تتسم إجمالًا بثلاث سمات أساسية؛ أولها: هي أن الكائنات الحية نتاج للتطور الدارويني، وفي الواقع يعرّف بعض العلماء الحياة وفق هذا المعيار وحده. إن المبدأ التطوري للتكاثر، بما فيه من تنوع وانتخاب، يعد جوهريًا بشكل لا يقبل الجدل. وهو ينطبق على الحياة في كل مكان، حتى على أشكال الحياة التي تختلف اختلافًا كبيرًا عن أشكال الحياة الأرضية المتنوعة. ومع أن التطور الدارويني ليس من قوانين الفيزياء، فإنه مبدأ تنظيمي على نفس درجة عمق قانون الجاذبية وأهميته، وبهذا تكون الحياة نتاجًا لهذه السمة الأساسية للكون.

السمة الأساسية الثانية: هي الاستقلالية؛ فالكائنات الحية تتمتع بحياة خاصة بها تمتعًا حرفيًا، ومع أن قوى الطبيعة تنطبق عليها مثلما تنطبق على غيرها من النظم المادية، فإنها «تسخر» هذه القوى لتحقق ما تريد. مثال بسيط على هذا الأمر قد يوضح مقصدي: إذا ألقيت بطائر ميت في الهواء فسيطيع مسارًا

هندسيًّا بسيطًا، ويهبط في نقطة يمكن التنبؤ بها. لكن إذا أطلقت طائرًا حيًّا في الهواء فمن المحال أن تعرف كيف سيتحرك أو أين سيهبط. ومن المهم هنا التأكيد على أن عدم القدرة على التنبؤ تختلف اختلافًا أساسيًّا عن السلوك العشوائي أو الفوضوي، مثل إلقاء النرد أو مصير الدوامات المتكونة في مجرى النهر. إن المسار الذي يتخذه الطائر يتحدد في جزء منه من واقع حالته الجينية والعصبية.

السمة الأساسية الثالثة للنظم الحية: هي كيفية تعاطيها مع المعلومات. يمكن اعتبار جميع النظم المادية نظمًا لمعالجة المعلومات. على سبيل المثال، يحتاج موقع أحد الكواكب في الفضاء إلى بعض الأرقام لتحديده. مع دوران الكوكب حول الشمس يتغير موقعه وتتغير هذه الأرقام. وبهذا تُحوِّل حركة الكوكب البسيطة «المُدخلات» (الموضع الأولي للكوكب) إلى «مُخرجات» (الموضع النهائي للكوكب). لكن المعلومات التي يحتوي عليها الجينوم أو المخ تتجاوز كونها بيانات من هذا النوع؛ إذ إن الجينوم هو مخطط عمل أو لوغاريتم أو مجموعة تعليمات لتنفيذ مشروع ما، على غرار تكوين أحد البروتينات أو نسخ أحد الجزيئات. ولكي يعمل اللوغاريتم بنجاح لا بد من وجود نظام مادي (في حالة الجينوم يكون هذا النظام هو الريبوسوم) يمكنه تفسير التعليمات الجينية وتنفيذها. هذه التعليمات «تعني شيئًا ما» للنظام، وهو «يتصرف» وفقًا لها. يشير الفلاسفة وعلماء الحاسب للمعلومات ذات المعنى (على نقيض البيانات الخام) باسم «المعلومات الدلالية». هناك إذن بعد دلالي أو سياقي للمعلومات البيولوجية؛ فالمعلومات الجينية ليست سلسلة من أجزاء البيانات العشوائية فقط، بل هي نوع من البرامج الحاسوبية لتشفير هدف محدد من قبل، مكتوب بأبجدية الحمض النووي رباعية الأحرف. وعندما يتعلق الأمر بالوعي — على النقيض من النشاط البيوكيميائي المحض — تتضح الطبيعة الدلالية لعملية معالجة المعلومات العصبية بجلاء. لا شك أن العقول تعالج معلومات ذات معنى؛ فهذه، بشكل أو بآخر، وظيفتها الأساسية.

يأخذ عالم الفيزياء ديفيد دويتش، المعروف بعمله الرائد في الحوسبة الكمية، البعد الحوسبي للحياة لما يتجاوز مجرد التشبيه. وهو يشير إلى أن الجينوم يحتوي على تمثيل داخلي للعالم — نوع من الواقع الافتراضي — المبني على مر حقب مديدة من التطور، يجعله يستغل المعلومات السياقية الضرورية للكائن الموجود فيه كي يتكيف على نحو طيب مع موضعه البيئي. بعبارة أخرى، فإن الجينوم

«يعرف» بيئته معرفة وثيقة. كتب دويتش: «الآن صرنا أقرب لمعرفة سبب جوهرية الحياة؛ فالحياة هي التجسيد المادي للمعرفة. وهي تقول إنه من الممكن تجسيد قوانين الفيزياء، كما تنطبق على كل بيئة مادية ممكنة، في برامج خاصة بتوليد الواقع الافتراضي. والجينات هي هذه البرامج.»[8] إن قدرة الأنظمة المادية، على غرار الكائنات الحية والأمخاخ والحاسبات الآلية، على بناء تمثيل حوسبي للكون — أي محاكاته — ليست بأي معيار بالسمة التافهة للعالم المادي. يعتمد هذا الأمر على ما يطلق عليه مبدأ تورينج (على اسم ألان تورينج، المشارك في اختراع الحاسب الآلي). يعرّف دويتش مبدأ تورينج، الذي يعتبره مساويًا لقوانين الفيزياء في كونه من أهم السمات الجوهرية للعالم المادي، كما يأتي: «من الممكن بناء حاسب آلي شامل: آلة يمكن برمجتها لأداء أي عملية حوسبة يستطيع أي جسم مادي آخر القيام بها.»[9] مع أن كثيرًا من الناس يأخذون هذا المبدأ كأمر مسلم به في عصر الحاسب الآلي، فإنه في الواقع يمثل سمة عميقة للغاية من سمات العالم، ويتوقف على نوع الأنظمة المادية الموجودة في الطبيعة والطريقة التي تتصرف بها.

بالتوسع في هذه الفكرة يضع دويتش «المعرفة» في نفس مرتبة أشياء مثل الكتلة والشحنة الكهربية، بوصفها كمية فيزيائية جوهرية، وهو يدلل على صحة زعمه هذا بحجة عجيبة: تخيل وجود حضارة مستقبلية على كوكب الأرض تملك التكنولوجيا لتعديل ليس فقط هذا الكوكب (كما فعلنا بالفعل، بشكل طيب أو سيئ) بل النظام الشمسي بأكمله، بما في ذلك الشمس. ربما ترغب هذه الحضارة في استخدام معرفتها بالفيزياء الفلكية في إطالة عمر الشمس عن طريق تغيير تركيبتها بصورة ما. إن تطور النجوم على غرار الشمس مفهوم بالفعل، ويمكن تحديد خصائص أي شمس متقدمة في العمر بدقة بواسطة تطبيق القوانين المعيارية للفيزياء النووية وفيزياء البلازما. أي مراقب من كوكب آخر في الطرف البعيد لمجرتنا يرصد سلوك الشمس بهذه الصورة سيجد عدم اتساق في ملاحظاته؛ لأن الشمس تغيرت بفعل المعرفة العلمية للحضارة الأرضية. في هذه الحالة يكون للمعرفة تأثير كبير بما يكفي ليضاهي العمليات القياسية في الفيزياء الفلكية، مثل تدفق الحرارة من اللب النجمي. بالطبع لا تزال الهندسة الكونية مقصورة على الخيال العلمي، لكن لا يوجد سبب يمنع الحياة والعقل، على مر دهور مديدة، من تغيير بنية الكون على نطاق كبير للغاية. (سأعود لهذا الموضوع في هذا الفصل.)

على أية حال، كما يذكرنا دويتش، ليس الحجم هو كل ما يهم؛ فظاهرة مثل التداخل الكمي (انظر الإطار ٨) جوهرية بشكل جلي في الشخصية، ومع ذلك فهي خفية بشكل كبير في كل الظروف تقريبًا.[10]

إطار ٨: الكون المتعدد الكمي

من المنظور التاريخي، لم تكن أول نظرية للكون المتعدد معنية بالكون نفسه بالأساس، بل كانت أحد تفسيرات نظرية ميكانيكا الكم. من غرائب ميكانيكا الكم أن الجسيم، على غرار الإلكترون، يتسم بشكل جوهري بقدر من عدم اليقين، وذلك وفق مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. على سبيل المثال، حين يتشتت الإلكترون بعد ارتطامه بجسم ما لا يمكنك أن تعرف مسبقًا هل سيرتد جهة اليمين أم جهة اليسار. تعطي ميكانيكا الكم كلتا النتيجتين احتمالية متساوية، لكنها تعجز عن تحديد أي النتيجتين ستحدث في أي حالة بعينها. ومع ذلك فلن نجد صعوبة بعد وقوع الحدث في معرفة الجهة التي تشتت الإلكترون ناحيتها؛ إذ إن كل ما علينا عمله هو الملاحظة المباشرة لمساره. من سبل التفكير في هذا الأمر القول إنه قبل أن يرتطم الإلكترون بالجسم كان هناك عالم واحد له مستقبلان محتملان: أحدهما يتحرك فيه الإلكترون إلى اليمين والآخر يتحرك فيه الإلكترون إلى اليسار. لكن بعد وقوع الارتطام سيكون على الطبيعة أن تحسم أمرها، إما إلى اليمين أو اليسار.

في التفسير الأصلي لنظرية الكم، والذي قدمه نيلز بور في كوبنهاجن في ثلاثينيات القرن العشرين، كان الانتقال من التراكب الغامض غير المحدد للعوالم إلى الواقع الأوحد الملموس يُعزى إلى تدخل مُجْرِي التجربة. وفق التفسير السائد في كوبنهاجن فإن فعل الملاحظة نفسه كان الخطوة الأساسية في جعل الطبيعة «تحسم أمرها» (إلى اليمين أو اليسار). رأى عدد قليل من الفيزيائيين في هذا دليلًا على الدور المباشر الذي يلعبه الوعي في العالم المادي على المستوى الكمي، بيد أن أغلب الفيزيائيين رفضوا هذه الفكرة. في الوقت الحالي هناك تفسير شائع — رغم عدم وجود إجماع كامل عليه — لميكانيكا الكم يقضي بقَبول النظرية كتوصيف كامل للواقع، بما في ذلك المراقبون أنفسهم. (بشكل نظري يمكن أن تنطبق النظرية على الكون بأكمله.)

إذا تبنينا وجهة النظر هذه يمكن تفسير التجربة البسيطة المذكورة فيما سبق بحيث تعني أن «كلا» العالمين المحتملين واقعيان بدرجة متساوية، بمعنى أنه حين يرتطم الإلكترون بالجسم ينقسم الكون إلى نسختين؛ واحدة يتحرك فيها الإلكترون إلى اليمين والأخرى يتحرك فيها إلى اليسار. يمكن التعبير عن الأمر تعبيرًا أفضل بأن نقول إنه قبل حدوث الارتطام كانت هناك نسختان متطابقتان من الكون، لم تفترق إحداهما عن الأخرى إلا مع حدوث الارتطام. أي مراقب يرصد ما يحدث يجب هو الآخر أن ينقسم إلى نسختين متطابقتين؛ إحداهما ترى الإلكترون يذهب في ناحية، والأخرى تراه يذهب في الناحية

المعاكسة. قد ينخدع كل مراقب منهما بالإيمان بأن عالمه هو العالم الوحيد «الحقيقي»، وليس الآخر إلا منافسًا محتملًا غير متحقق. لكن في الحقيقة توجد جميع العوالم الواقعية بشكل متواز. صارت هذه المجموعة من الأفكار معروفة باسم تفسير «الأكوان الموازية» أو «الأكوان العديدة» لميكانيكا الكم. وبشكل عام لن يخلق النشاط دون الذري نسختين من العوالم الموازية، بل نسخًا لا حصر لها، وهي عملية متواصلة طوال الوقت.

مع كون تفسير الأكوان العديدة لميكانيكا الكم أمرًا محيرًا للعقل فإنه هو الأكثر قبولًا في أوساط الفيزيائيين العاملين على الموضوعات الجوهرية على غرار نظرية الأوتار/النظرية M. هذا التفسير محل تفضيل أيضًا عند تطبيق ميكانيكا الكم على علم الكونيات.

قد يعترض منتقدو هذه الفكرة قائلين إن المعرفة مفهوم بشري ليس له مكان في أي نظرية للعالم المادي، وفي علم الكونيات على الأخص. هل يمكن أن نعزو «المعرفة» لأحد الجينات مثلًا؟ أليس هذا الجين جزيئًا أخرق؟ من الصحيح أن جزيئات على غرار الحمض النووي لا تحمل ملصقًا مكتوبًا عليه «لديّ معرفة». لتوضيح هذه النقطة تدبر أمر قاعدة البيانات الجينية للحياة التي تحتوي عليها سلسلة من القواعد النيتروجينية، أو الحروف، داخل الحمض النووي. هناك أربعة أنواع لهذه القواعد يشار إليها بالحروف A وT وC وG. حين يحلل العلماء أحد الجينات لتحديد سلسلة القواعد التي يحتوي عليها تقدم النتيجة على صورة سلسلة طويلة من الحروف، قد يبدو جزء منها على هذا النحو: AAGCTCGTTAGAC. الوظيفة الأساسية للجينات هي حمل شفرة تصنيع البروتينات، إلا أن القدر الأعظم من الحمض النووي في الكائنات المعقدة، مثل البشر، «غير مشفر»، أي لا يحمل معلومات وراثية، وعادة ما يشار له بالحمض النووي «المُهمَل».[11] ومع ذلك فيمكن أن يوجد نفس تتابع الحروف AAGCTCGTTAGAC في أحد الجينات وفي الحمض النووي المهمَل، ولن يمكنك بالنظر إلى التتابع وحده معرفة هل «يحمل معرفة» (أي ينتمي لأحد الجينات) أو لا (أي ينتمي للحمض النووي المهمَل). هذه الجزيئات متطابقة من الناحية المادية، لكن ضمن السياق الكلي للكائن وبيئته يكون لمسمى المعرفة معنى.

المشكلة أن مفهوم «السياق الكلي» يبدو صعب التعريف وذاتيًا إلى حدٍّ بعيد. إلا أن دويتش يؤمن بأن لديه وسيلة لتعريفه بحيث يوضح أهميته الموضوعية. وهو يشير إلى أنه رغم أن أي تغيرات في الجزء الشفري، أو الجيني، في الحمض

النووي قد تكون لها آثار كارثية عن طريق التسبب بطفرات تقلل نجاح الكائن على التكيف، فإن أغلب التغيرات في الحمض النووي المهمل لا يبدو أن لها أية تبعات خطيرة. وبهذا يعمل الانتخاب الطبيعي على حفظ التتابعات الوراثية في الحمض النووي عبر أجيال عديدة، لكنه يسمح للحمض النووي المهمل بالتغير تغيرًا عشوائيًّا من جيل لآخر. إن الطفرة، والمقصود بها التغير في تتابعات الحروف، قد تحدث بسبب مرور جسيم دون ذري، على غرار الأشعة الكونية، عبر جزيء الحمض النووي وإتلافه، مسببًا تغير ترتيب الحروف، ويكفي تغير موضع حرف واحد للتسبب في تبعات خطيرة للكائن وسلالته. مثل هذا الحدث حساس للغاية للمسار المحدد للجسيم، ويخبرنا عدم اليقين الكمي بأن هناك احتمالية لأن يفشل الجسيم في إعادة ترتيب الحروف أو الخروج بترتيب مختلف. يدعونا دويتش للتفكير في هذا السيناريو في سياق الكون المتعدد الكمي؛ تأويل الأكوان المتعددة لميكانيكا الكم (انظر الإطار ٨). إذا تمكنا من رصد كل واقع كمي مواز في الوقت ذاته (وهو ما يستحيل عمله على البشر، لكن يمكن التفكير في الأمر بوصفه تجربة فكرية) فسنلاحظ وقتها أن تتابع الحمض النووي لكائن بعينه (على سبيل المثال، كلب محدد) في هذه العوالم المتوازية اختلف. سبب هذا هو أن العوالم الكمية المختلفة لها تواريخ مختلفة، بما في ذلك تواريخ التطور للكائن المذكور؛ تواريخ قد تعتمد اعتمادًا أساسيًّا على اصطدام الأشعة الكونية وغيرها من الجسيمات الذرية الخاضعة لمبدأ عدم اليقين الكمي. بمزيد من التدقيق سنجد أن التغيرات في تتابعات الحمض النووي التي رأيناها في جميع العوالم الموازية تتركز تركزًا طاغيًا في الجزء المهمل من الحمض النووي، وسيظل الجزء الجيني، الحامل للشفرة الوراثية، متطابقًا تطابقًا شبه تام من عالم كمي إلى آخر؛ بسبب حفاظ الانتخاب الطبيعي عليه على مر التواريخ العديدة الماضية. يخلص دويتش من هذا إلى أننا بتوسيع نظريتنا للعالم بحيث تشتمل على الكون المتعدد الكمي، سنرى اختلافًا ماديًّا واضحًا بين التتابعات الجينية، التي تملك «معرفة»، وتتابعات الحمض النووي المهمل. وبهذه الكيفية يمكن أن تُمنح «المعرفة» أساسًا ماديًّا موضوعيًّا.

محصلة هذه النقاشات المتعددة هي أن الكائنات الحية تتمتع بخصوصية شديدة في العديد من المناحي المهمة بما يمنعها من أن تكون «مجرد نوع آخر من الأنظمة المادية» الموجودة في مستودع الطبيعة إلى جوار سحب الأمطار والصخور والصمغ. إن تاريخ الكون، بمنظور كلي شامل، هو تاريخ تظهر فيه ظواهر

جوهرية جديدة مع كل نقلة جديدة في درجات الحرارة أو الطاقة أو التعقيد. على سبيل المثال، في عمر ميكروثانية، تجمدت الكواركات والجلوونات لتكون البروتونات والنيوترونات، وحين كان عمر الكون ٣٨٠ ألف عام اتحدت الإلكترونات والجسيمات النووية لتكون الذرات، وبعد بضع مئات الملايين من السنين تكونت المجرات والنجوم، وفي وقت لاحق ظهرت الحياة، ثم العقل، ثم الثقافة. لا ينكر أحد أن الذرات والنجوم والمجرات هي من ملامح الكون الأساسية. ويبدو واضحًا أن الحياة (والعقل والثقافة أيضًا، وهو ما سأحاول البرهنة عليه فيما يلي) ليست بالخطوة الأقل أهمية على درب التطور الكوني.

(٣) النظر إلى العقل بجدية

عند الحديث عن العقل تصير السمات المميزة أكثر وضوحًا ومختلفة اختلافًا كليًّا عن أي شيء آخر موجود في الطبيعة. إننا الآن نتعامل مع الأفكار والأغراض والمشاعر والمعتقدات؛ ذلك العالم الداخلي الذاتي للمراقب، الذي يستشعر الحقائق الخارجية من خلال حواسه. من الواضح أن هذه الكيانات العقلية ليست «مجموعة أخرى من الأشياء»؛ بل هي تحتل مرتبة متفردة. ولا يمكن حتى توصيفها بنفس الكيفية التي توصف بها الأشياء المادية، ولا تربطها بها علاقة على الإطلاق. إنك إذا شققت مخ إنسان فلن ترى الأفكار والمشاعر. لن ترى إلا تكوينات معقدة من الخلايا المخية. بطبيعة الحال من الممكن تحديد العلاقة بين الحالات العصبية والحالات العقلية (وهذا ما يسميه الفلاسفة «المشكلة السهلة»، مع أنها أبعد ما تكون عن السهولة)، إلا أن هذا لن يفيد في حل مشكلة تباين الخبرات الفردية بعضها عن بعض، مثل الإحساس بحمرة اللون الأحمر أو زرقة اللون الأزرق، أو مذاق الملح أو الإحساس بالفراء. يعد تفسير هذه السمات المتفردة جزءًا مما يطلق عليه «المشكلة الصعبة»،[12] لأن هذه السمات منفصلة على المستويين المفاهيمي والعلمي عن عالم الأجسام والقوى المادية؛ فإما أن تكون هذه السمات المتفردة ليست إلا وهمًا ويمكن تحديدها بعيدًا عن الوجود (أنت لا ترى اللون الأحمر، بل تخدع نفسك. ليس لك وجود مادي، بل إحساسك بذاتك هلاوس)، أو أن تكون بالفعل سمات أساسية ونتاجًا منطقيًّا للطبيعة. بُذلت محاولات بطولية على طريق البرهنة على صحة الرأي الأول، أشهرها تلك التي قام بها دانيل دينيت،[13] إلا أنني أعتقد أن القضية أبعد ما تكون عن الحل.

نظرًا لكثرة ما كُتب حول هذا الموضوع فلن أحاول تلخيص الحجج القوية المقدمة دفاعًا عن الطبيعة الجوهرية للحالات العقلية على وجه العموم، والسمات المنفصلة على وجه الخصوص.[14] سأقدم فقط سببين إضافيين وراء إيماني بضرورة النظر إلى العقل بجدية على أنه ملمح عميق ذو معنى للكون، أولهما علمي، والثاني فلسفي. من الصحيح أن عالم العقل يكتنفه غموض شديد، إلا أنني مقتنع بأن ظاهرة الوعي ستُدمج في نهاية المطاف في الصورة العلمية للعالم، وأن العلاقة بين العقل والمادة ستُفهم فهمًا صحيحًا دون الحاجة لتعريف الوعي تعريفًا خارجًا عن الوجود. إلا أن كيفية عمل هذا تظل إلى الآن في علم الغيب، ومع ذلك فهناك تلميح للكيفية التي يمكن أن يتوافق بها العقل مع الفيزياء يأتي من عالم ميكانيكا الكم؛ فمع أن النظم الكمية تتسم بعدم اليقين بطبيعتها، فإن تطبيق نظام للقياس سيؤدي في المعتاد لنتائج محددة (انظر الإطارين ٤ و٨). ومنذ ظهرت ميكانيكا الكم للنور والدور المحوري للقياس، أو الملاحظة، معترف به، ومع أنه لم يتحدد بشكل قاطع بعد كيف يكون للعقل (بالمقارنة بالمخ أو أي نظام معقد لجمع المعلومات) علاقة بهذه القضية، أو هل له علاقة من الأساس، فيبدو من المرجح أن أي محاولة لجلب الوعي داخل نطاق الفيزياء ستحتاج أن تُصاغ في سياق ميكانيكا الكم.

تتضح مشكلة إدراج المراقب في وصفنا للواقع المادي بجلاء عند الحديث عن موضوع علم الكونيات الكمي — والمقصود به تطبيق ميكانيكا الكم على الكون بأكمله — وذلك لأن الكون، بشكل تلقائي، لا بد أن يحتوي على مراقبين. يعطينا أندريه ليند سببًا عميقًا وراء ضرورة لعب المراقبين دورًا جوهريًّا في علم الكونيات الكمي، وهذا السبب يتعلق بطبيعة الزمن. ليس مرور الزمن أمرًا مطلقًا، بل لا بد أن يشتمل على تغير في أحد النظم المادية مقارنة بآخر، مثل عدد مرات تحرك عقارب الساعة بالمقارنة بحركة دوران الأرض. في حالة الكون بأكمله يفقد الزمن معناه؛ إذ لا يوجد شيء آخر يمكن القول إن الكون يتغير بالمقارنة به. يتضح «اختفاء» الزمن للكون بأسره بشكل كبير في علم الكونيات الكمي، حيث يُسقَط عامل الزمن من التوصيف الكمي للكون.[15] لكن من الممكن أن يُعاد بسهولة للمعادلة إذا اعتبرنا أن الكون منقسم إلى نظامين فرعيين: مراقب يحمل ساعة، وبقية الكون. وقتها يستطيع المراقب قياس مرور الزمن في ضوء تطور بقية الكون. من هذا المنطلق يكون للمراقب دور مهم للغاية. عبر ليند عن هذه الفكرة

بوضوح بقوله: «وبهذا نرى أنه دون وجود المراقب، سيكون لدينا كون ميت، كون لا يتطور مع مرور الزمن»[16] وأنه «لا بد من وجود الكون والمراقبين معًا. وحين تزعم أن الكون موجود دون مراقبين فلن أجد في هذا أي معنى. فلا يسعني تخيل نظرية متسقة لكل شيء تتجاهل الوعي ... ففي غياب المراقبين يكون الكون ميتًا.»[17] ومن البديهي أن يوجد المراقبون فقط في أكوان «جولديلوكس» التي تسمح فيها القوانين والظروف بوجود المراقبين من الأساس.

دعني أعرض لك الآن السبب الفلسفي وراء إيماني بأن العقل يحتل مكانًا مميزًا في الكون: يدور الأمر حول حقيقة أن العقول (البشرية بالطبع) هي أكثر من مجرد مراقبين. إننا نفعل ما هو أكثر من مشاهدة عروض الطبيعة. إن البشر قادرون على «تفهم» العالم، على الأقل بشكل جزئي، بالمنطق والعلم. وعلى وجه التحديد، لقد طورنا أساليب رياضية، وخلال عمل هذا كشفنا النقاب عن بعض، وقريبًا كل، شفرة الكون الخفية؛ تلك النغمة الدقيقة التي ترقص وفقها الطبيعة. لا شيء في حجة الكون المتعدد/المبدأ الإنساني بأكملها يتطلب «ذلك» المستوى من الانخراط، و«تلك» الدرجة من الترابط. ولتفسير ملاءمة الكون للحياة، تتطلب عمليات الانتخاب المفترض وجودها في المبدأ الإنساني الضعيف وجود مراقبين للمراقبة. ليس لزامًا على المراقبين أن يفهموا، ومع ذلك فالبشر يفهمون. لماذا؟

إنني مقتنع بأن الفهم البشري للطبيعة بالعلم والمنطق العقلاني والرياضيات يشير إلى وجود رابط بين الحياة والعقل والكون أكثر عمقًا بكثير من ذلك الذي يظهر في يانصيب علم كونيات الكون المتعدد والمبدأ الإنساني الضعيف. فبصورة ما، سأعرضها بتفصيل أكبر بعد قليل، تعد الحياة والعقل والقوانين المادية جزءًا من خطة مشتركة، وكل منها يدعم الآخر. وسأزعم في الأقسام التالية أن ملاءمة الكون للحياة هي بالفعل تأثير لانتخاب المراقبين، لكنها تعمل على مستوى أكثر عمقًا من تفسير «الفائزين باليانصيب العشوائي» السلبي.

لو صح أن الحياة والعقل من السمات الأساسية للكون، كما اقترحت، يمكننا أن نتوقع انتشارهما في الكون، تمامًا مثلما تنتشر أية كيانات أخرى (كالمجرات والنجوم والكواكب). وعلى النقيض، لو كانت الحياة على الأرض «تفاعلًا كيميائيًّا» عرضيًّا فقط، لا ينبع من أي مبدأ عميق بل ليس إلا نتيجة صدفة عارضة، فمن المرجح أن تكون مقتصرة على نظامنا الشمسي وحده. هناك إذن طريقتان لاختبار الزعم بأن الحياة ظاهرة أساسية مهمة عامة؛ الأولى: هي البحث عن أماكن أخرى

في الكون ظهرت بها الحياة من نقطة الصفر، ظهورًا مستقلًا عن الحياة على كوكب الأرض. الثانية: هي البحث عن أدلة على أن الحياة على الأرض بدأت أكثر من مرة؛ فربما يوجد شكل بديل للحياة الميكروبية لا يزال في طور النمو في مكان ما داخل المجال الحيوي للأرض.[18] إذا تحقق أي من الطريقتين فسيعني هذا أن الحياة سمة أصيلة متغلغلة في الكون، وأنها «حتمية كونية»، لو كررنا وصف دوف القوي.

إن الزعم بأن الحياة والمراقبين نتاج حتمي للملاءمة المتأصلة في الكون للحياة يلقى قبولًا واسعًا دون شك. ومع ذلك فهذا الزعم يواجه بالعديد من العقبات العلمية والفلسفية الخطيرة. لمعرفة ما أعني تدبر عددًا من الأمثلة على الأنظمة المادية التي تظهر كنتيجة حتمية للقوانين المادية؛ أول هذه الأمثلة البلورات: إن بنية البلورة محددة من واقع التناظرات الهندسية التي هي جزء لا يتجزأ من قوانين الكهرومغناطيسية. إن العملية التي يتبلور بها محلول غير منتظم الشكل، محلول ملحي مثلًا، إلى حبيبات ملح صلبة ذات بنية هندسية هي عملية محددة وحتمية بشكل كبير، وستتم نفس العملية بنفس الصورة كل مرة. المثال الثاني: هو حالة التوازن الديناميكي الحراري للغاز.[19] إذا أُدخل الغاز إلى وعاء مغلق بطريقة اعتباطية وتُرك لحاله، سرعان ما يصل لحالة نهائية تكون فيها درجتا الحرارة والضغط ثابتتين عبر الغاز كله، وستتوزع سرعات الجزيئات وفق علاقة رياضية دقيقة (تعرف بتوزيع ماكسويل-بولتزمان). ومجددًا، الحالة النهائية خاضعة بالكامل للتنبؤ وقابلة للتكرار.[20] وهي محددة تحديدًا مسبقًا من واقع قوانين الفيزياء. وبهذا من الصواب تمامًا القول إن الحالات النهائية للملح والغاز «مكتوبة في» قوانين الفيزياء.

إلا أن السؤال المطروح أمامنا هو: هل الحياة — وربما حتى الوعي — مكتوبة في قوانين الفيزياء؟ هل يمكن لظهور الحياة من المادة غير الحية أن يشبه عملية البلورة، مثلًا، وأن ينبع، على نحو حتمي يمكن التنبؤ به، من قوانين الفيزياء وحدها، تحت نطاق عريض من الظروف المبدئية؟ الإجابة هي كلا قطعيًّا. إن النظم البيولوجية تقع في مكان متوسط بين البلورات والغاز العشوائي، فالخلية الحية تتفرد بتعقيدها البالغ المنظم، وهي لا تملك بساطة البلورات أو عشوائية الغازات.[21] إنها حالة خاصة عجيبة للمادة ذات المحتوى المعلوماتي العالي. إن جينوم أصغر أشكال البكتريا المعروفة يحتوي على ملايين المعلومات؛ معلومات ليست مشفرة وفق قوانين الفيزياء. إن قوانين الفيزياء علاقات رياضية بسيطة

يمكن التعبير عنها بقدر قليل للغاية من المعلومات. وهي قوانين عامة، ولأنها تنطبق على كل شيء، لا يمكنها أن تحتوي على معلومات تخص طبقة معينة من النظم المادية؛ الكائنات الحية. لفهم المحتوى المعلوماتي العالي للحياة علينا إدراك أنه ليس نتاجًا لقوانين الطبيعة وحدها، بل لقوانين الفيزياء «إلى جانب» تاريخ البيئة معًا. لقد ظهرت الحياة وطورت تعقيدها الهائل نتيجة لعملية استغرقت مليارات الأعوام وتطلبت عددًا كبيرًا من خطوات معالجة المعلومات. وعلى هذا يحوي الكائن الحي منتجات لتاريخ معقد متشابك. ولتلخيص الأمر في عبارة واحدة، يمكن القول إن الحياة التي نرصدها اليوم هي ١ بالمائة فيزياء، و٩٩ بالمائة تاريخ.

(٤) التعامل مع فكرة الغائية

إذا لم تكن الحياة مكتوبة في قوانين الفيزياء كما نعرفها في وقتنا الحالي، فهل يمكن أن تنمو هذه القوانين بفعل مبدأ تنظيمي ما يسهل من ظهور التعقيد البيولوجي ويسرّع من ظهور المادة والطاقة على مدار طريق الحياة ضد كل الاحتمالات المعارضة، بل يدفعها لأشكال أكثر تعقيدًا؟ اقتُرح وجود مثل هذا المبدأ مرات عديدة،[22] بيد أن هذا دائمًا ما ووجه بمعارضة قوية من أنصار العلم التقليدي. ليس من العسير معرفة السبب وراء رد الفعل السلبي هذا؛ إذ إن أي نوع من مبادئ الحياة أو الحتمية الكونية يعيد إلى العلم تلك الكلمة المثيرة للفزع: الغائية. كلمة الغائية بالإنجليزية teleology مشتقة من الكلمة الإغريقية telos بمعنى «غاية» أو «نتيجة»، وهي نفس ما يعنيه العلماء عندما يستخدمون كلمة «السبب» Cause.

علمنا أرسطو أن الأسباب تأتي في صور متعددة، إحداها هي ما أطلق عليها «الغاية النهائية»، والمقصود بها الحالة النهائية التي توجه صوبها كل الأفعال. الغايات النهائية مألوفة في الأنشطة البشرية. على سبيل المثال، يذهب البنَّاء لشراء قوالب الطوب بغرض بناء المنزل، ويضع الطباخ الطعام في الفرن بغرض إعداد الطعام. إن مفهوم المنزل والطعام بوصفهما حالات نهائية يشكل جزءًا من سلسلة السببية. ولا يسعنا أن نفهم فهمًا تامًّا ما يفعله البنَّاء أو الطباخ دون أن نضع في اعتبارنا «البعد الغائي» لأنشطتهما، أو ما يمكن أن نطلق عليه إجمالًا «الغرض». يمكن تبين الغائية أيضًا في أفعال الحيوانات؛ فالكلب يحفر في الحديقة بغرض إخراج عظمته، والصقر ينقض على الفأر على أمل أن يمسك به. آمن أرسطو أنه

بالإمكان تبين الغايات النهائية في العناصر غير الحية في الطبيعة أيضًا، ولا يزال بمقدورنا رؤية آثار لهذه الفكرة في عبارات على غرار «يظل سطح الماء مستويًا أيًا كان الإناء الذي يحتويه». لكن منذ وقت نيوتن طُرحت فكرة الغاية النهائية من عالم الفيزياء جانبًا (أو على الأقل فقدت بريقها). فعلى مستوى تفاعل الذرات بعضها مع بعض، تكمن الغائية في التفاعل ذاته، دون إشارة لأي نوع من المصير أو الغرض أو النتيجة النهائية.

لكن في عالم البيولوجيا من العسير إنكار وجود الغائية، خاصة في السلوك البشري. إلا أن الغائية استُبعدت تمامًا من نظرية داروين للتطور. إن الفكرة الجوهرية للداروينية هي أن الطبيعة لا يمكنها أن «تنظر إلى الأمام» وتتوقع ما يمكن أن يحتاج الكائن إليه كي يحيا. وحسب تعبير ريتشارد دوكنز فإن الطبيعة ليست إلا صانع ساعات أعمى، والطفرات تحدث بشكل عشوائي ثم تُختار على أساس قيمتها «في الوقت الحالي». إن الداروينية تعمل في الوقت الحاضر، ويعمل الانتخاب على انتقاء أنسب السمات في الوقت الحالي. وفقًا لداروين فإن التطور لا «يتجه لمكان محدد»؛ فلا يوجد اتجاه معين أو تخطيط مسبق.[23] بطبيعة الحال قد يُظهر التطور نزعات بعينها، على غرار النمو المتواصل لخرطوم الفيل، إلا أن هذا يرجع ببساطة إلى الضغوط الانتخابية المتواصلة التي تعظم سمة مفيدة بعينها. وفي هذا المنحى تقف الداروينية في موقف معارض تمامًا لنظرية التطور البديلة للامارك (ثبت عدم صحتها الآن) التي تقترح توارث السمات المكتسبة، وذكرتها عرضًا في الفصل التاسع. في نظرية لامارك تكافح الكائنات لتحقيق تكيف أفضل، ثم تنقل ثمرة جهودها هذه إلى أبنائها؛ على سبيل المثال، تمد الزرافة عنقها للوصول للأفرع الأعلى، ونتيجة لذلك تنجب زرافات ذات أعناق أطول. تحتل الغائية مكانًا بارزًا في اللاماركية، إلا أن انتصار الداروينية جعل أي شكل من أشكال الغائية، سواء في البيولوجيا أو الفيزياء أو غيرها من العلوم، محل استهجان كبير.[24] بل يمكنني الذهاب للقول إن العلم الآن في آخر مراحل تنقية نفسه من فكرة الغائية.[25] تنبع هذه الكراهية بشكل جزئي من المغزى الديني لفكرة الغائية. ومع أن مفهوم أرسطو الأصلي لم يكن له أي مغزى ديني، فإنه سرعان ما صار يُنظر للغائية بوصفها طريقة العمل الإلهية في الكون المادي. تسبب هذا في نفور العلم من فكرة الغائية، وحين ظهرت نظرية التطور مطيحة بفكرة الغائية تلقاها الملحدون بحفاوة وحماس شديدين. فنجد أن فريدريك إنجلز، مثلًا، كتب في خطاب إلى كارل ماركس

عام ١٨٥٩ يقول: «بالمناسبة، إن داروين، الذي أقرأ له حاليًّا، رائع بحق. كان هناك جانب واحد متبقٍّ من الغائية لم يُهدم بعد، لكنه نجح في هدمه بالفعل.»[26]

إن المبدأ الإنساني القوي، بل حتى فكرة دوف عن «الحتمية الكونية»، التي تبدو بريئة من النظرة الأولى، تغازل فكرة الغائية. فهاتان الفكرتان تصفان كيفية تسهيل ظهور حالة نهائية — الحياة والوعي — عن طريق سلسلة من الخطوات، سلسلة تبلغ أوجها بعد أن تكون قوانين الطبيعة قد «وضعت» بمليارات السنين. ينظر العلماء الملتزمون بصرامة بالمنهج العلمي بازدراء لمثل هذه الأفكار المفرطة في التفاؤل. ربما تحدث جيلمان نيابة عن أغلبية العلماء حين كتب: «يمكن أن تنبثق الحياة انبثاقًا تامًّا من قوانين الفيزياء إضافة إلى بعض المصادفات، ويمكن أن ينشأ العقل من البيولوجيا العصبية. وليس من الضروري الافتراض بوجود آلية إضافية أو أسباب خفية.»[27] و«لكن المبدأ [الغائي] في أقوى صوره من المفترض أن ينطبق على آليات الجسيمات الأولية والأحوال البدائية للكون، بحيث يشكل بطريقة ما هذه القوانين كي تنتج بشرًا. هذه الفكرة تبدو سخيفة لدرجة لا تستحق معها أن تُناقَش أكثر من ذلك.»[28]

لا تحظى الغائية بشعبية بين العلماء، ليس فقط للأسباب الأيديولوجية؛ إذ إن هناك براهين علمية مضادة لها أيضًا. ووفق النظرة التقليدية فإن قوانين الطبيعة تحدد بالفعل كل شيء يحدث في الطبيعة (حتى حدود عدم اليقين الكمي)، وذلك فور تحديد الشروط الأولية للنظام المعني. وإذا حاولنا الآن فرض قانونٍ أو مبدأ إضافي فوق قوانين الفيزياء فسيبدو الأمر كما لو أن هناك تعارضًا. على سبيل المثال، إذا أخبرت قوانين الفيزياء الذرة بأن تفعل هذا، وأخبرها المبدأ الغائي بأن تفعل ذاك، كيف ستحسم الذرة المسكينة أمرها؟ يطلق العلماء على هذا اسم حالة الحتمية الفائقة؛ بمعنى أن النظام «مشبع غائيًّا» بالفعل على أصغر مستوياته بقوانين الفيزياء، ولا توجد «مساحة إضافية بالأسفل» لأي حتمية أخرى منافسة.

(٥) التخلي عن الفكر الأفلاطوني سيفسح مجالًا للغائية

لا توجد إمكانية لتقديم مبدأ إنساني قوي أو حتمية بيولوجية إلى علم الكونيات ما دامت نشأة وتطور الكون محكومين بالفعل بقوانين الفيزياء كما ندركها في وقتنا الحالي (على سبيل المثال من خلال نظرية الأوتار/النظرية M).

إلا أن هذه النتيجة التي لا تدحض في ظاهرها تخفي نقطة ضعف، وإن كانت ليست بكبيرة، فالاعتراض بأنه لا توجد مساحة بالأسفل لأي مبدأ إضافي يقوم على افتراض محدد بشأن طبيعة القوانين المادية؛ ذلك الافتراض المسمى بالأفلاطونية، الذي تحدثت عنه باختصار في الفصل الأول. يمكن اعتبار أغلب الفيزيائيين النظريين أفلاطونيين من واقع الطريقة التي يتصورون بها قوانين الفيزياء على أنها علاقات رياضية محددة لها وجود حقيقي مستقل يسمو بشكل ما فوق كوننا المادي (أوضحت هذه النقطة في الشكل ١-٢). على سبيل المثال، في النماذج البسيطة للكون السابقة على فكرة الكون المتعدد، حين يظهر الكون من «الخواء» (انظر الفصل الثالث) فإن قوانين الفيزياء تُصَوَّر على أنها «تقطن» هذا «الخواء» الذي سبق وجود الزمان والمكان. عبر هاينز بيجلز عن هذه الفكرة بقوة بقوله: «سيبدو كما لو أن الفراغ (أي حالة عدم وجود زمان أو مكان قبل الانفجار العظيم) خاضع لقانون؛ منطق موجود قبل وجود الزمان والمكان.»[29] وبالمثل، تعتبر نظرية الأوتار/النظرية M «موجودة بالفعل في مكان ما»، في عالم أفلاطوني سامٍ. أيضًا المشهد الطبيعي لنظرية الأوتار، بكل أشكاله المتشابكة المعقدة، يتحدد وفق معادلات فيزيائية محددة، موجودة هي الأخرى «في مكان ما». وآلية توليد الأكوان الخاصة بالتضخم الأبدي موجودة «في مكان ما». وميكانيكا الكم أيضًا موجودة «في مكان ما». ينظر الأفلاطونيون لهذه الأشياء على أن لها وجودًا حقيقيًّا مستقلًّا، منفصلًا عنا وعن كوننا وعن الكون المتعدد. لكن ماذا سيحدث لو تخلينا عن فكرة التجسيد المثالي الأفلاطوني لقوانين الفيزياء؟

لدى أنطون زيلينجر، الفيزيائي النمساوي الذي يعمل على اختبارات وتطبيقات ميكانيكا الكم، بعض التحفظات: «إن القوانين التي نكتشفها عن الطبيعة لا توجد بالفعل بوصفها «قوانين للطبيعة» في العالم الخارجي.»[30] يفضل كثير من الفيزيائيين الذين لا يشغلون أنفسهم بالقضايا الفلسفية التفكير في قوانين الفيزياء بصورة عملية أكثر بوصفها شروطًا قياسية وجدت في الطبيعة، وليست حقائق سامية غير قابلة للتغيير لها القدرة على التحكم في سير الأمور. ربما كان ويلر هو أشد المناهضين للأفلاطونية. كانت الكلمة الأثيرة لديه هي «التقلب». وكان يحب أن يعلق ساخرًا بقوله: «لا يوجد قانون سوى ذلك الذي يقول إنه لا يوجد قانون.»[31] معتنقًا هذا القول المأثور «قانون دون قانون» لوصف موقفه المعارض، رأى ويلر أن قوانين الفيزياء لم تكن موجودة من قبل، وإنما ظهرت من فوضى الانفجار

العظيم الكمي — أي ظهرت نتيجة اختلاط الحابل بالنابل — ثم استقرت مع استقرار الكون الذي تحكمه في أعقاب مولدها المبهم.[32] وقد علق بقوله: «بقدر ما يمكننا أن نرى اليوم، فإن قوانين الفيزياء لا يمكن أن تكون قد وُجِدَت من الأزل وإلى الأزل، بل لا بد أنها ظهرت للوجود مع الانفجار العظيم.»[33] المهم هنا هو أن ويلر لم يفترض أن القوانين ظهرت بغتة من العدم، جاهزة في صورتها النهائية، بل إنها ظهرت في شكل تقريبي وخضعت للتنقيح مع مرور الوقت، فيقول: «لا بد أن القوانين ظهرت للوجود. لهذا من المحال أن تكون دقيقة دومًا بنسبة مائة بالمائة.»[34]

شجع فكرة أن قوانين الفيزياء ليست علاقات رياضية دقيقة بشكل غير متناه، بل بها قدر من عدم الدقة يقل مع الوقت، الإيمان بأن الوجود المادي هو ما أطلق عليه ويلر «كيان نظري معلوماتي». وقد أوضح ويلر أن كل شيء نكتشفه عن العالم يمكن تلخيصه في نهاية المطاف إلى معلومات.[35] من وجهة نظره، الكون المادي هو في جوهره معلوماتي، وما المادة إلا ظاهرة مشتقة (على عكس النظرة التقليدية) من خلال عملية تحويلية سماها «الشيء من الوحدة»؛ حيث «الشيء» هو الغرض المادي، على غرار الإلكترون، و«الوحدة» تعني وحدة المعلومات.[36]

لماذا يعني وجود «الشيء من الوحدة» ظهور «قانون بدون قانون»؟ استطاع رولف لانداور، الفيزيائي في آي بي إم الذي ساعد في بناء النظرية الحديثة للحوسبة، أن يوضح العلاقة. رفض لانداور هو الآخر النظرة الأفلاطونية بوصفها تجسيدًا رمزيًّا غير مبرر. وما ضايقه هو أن، في العالم الواقعي، جميع عمليات الحوسبة خاضعة للحدود المادية.[37] إن وحدات المعلومات لا تطفو بحرية في أرجاء الكون، بل هي مرتبطة على الدوام بأجسام مادية. على سبيل المثال، تستقر المعلومات الجينية في أربع قواعد نيتروجينية يتألف منها الحمض النووي. وفي الحاسب الآلي تُخزن وحدات المعلومات بطرق متعددة، مثل النطاقات المغناطيسية. ومن البديهي أنه لا يمكن أن يوجد برنامج حاسوبي دون مكونات مادية تدعمه. شرع لانداور في تقصي الحدود النهائية لأداء الحاسب الآلي، الذي تخضع مكوناته المادية لقوانين الفيزياء والموارد المحدودة للكون. وقد خلص إلى أن القوانين المثالية المجردة ما هي إلا وهم، وذلك من وجهة نظر عالم الحوسبة.

لفهم منطق لانداور في هذه النقطة تدبر العمليات الحسابية المرتبطة بتطبيق قوانين نيوتن: اخترع نيوتن الرياضيات التي احتاجها كي يصف هذه القوانين (وهو نفس ما فعله لايبنيتز، وهناك جدل حول أسبقية أي منهما في ذلك). أسماها

نيوتن نظرية التدفقات، واليوم نطلق عليها التفاضل والتكامل. ليست التفاصيل مهمة للقارئ غير المطلع على التفاضل والتكامل، لكن يكفي أن نقول إن هذا النوع من الرياضيات يتطلب متغيرات معينة، على غرار موضع الجسم والوقت الذي رُصد فيه الجسم، كي يتفاوت بشكل «متصل». على سبيل المثال، سرعة الجسم هي معدل تغير الموضع مع الوقت، والتسارع هو معدل تغير السرعة مع الوقت. لتنفيذ العمليات الحسابية الأساسية التي تنص عليها قوانين نيوتن عليك افتراض أن الزمان والمكان متصلان وقابلان للتقسيم قبولًا لانهائيًّا. نتيجة ذلك هي أن قوانين نيوتن، التي تعتبر عبارات رياضية دقيقة، تتطلب أن تكون فترات الزمان والمكان متصلة ومتدفقة وفق أي معيار تكبير، وصولًا إلى الصفر.

يمكن توضيح هذه الخصائص من خلال ما يطلق عليه الرياضيون «خط الأعداد الحقيقية»، وهو خط متصل يمكن أن تمثل كل نقطة فيه عددًا حقيقيًّا. العدد الحقيقي هو عدد عشري، مثل العدد ٠,٥٦٣٧١٥٧٣٨٠٠٠، يتكون كله تقريبًا من عدد لانهائي من الأرقام بعد العلامة العشرية. لا توجد أي فجوات على خط الأعداد الحقيقية؛ إذ يمكن وضع الأعداد الحقيقية بعضها بجوار بعض. تلعب الأعداد الحقيقية دورًا جوهريًّا في النظريات المادية، ليس فقط في رياضيات نيوتن، بل في كافة فروع الفيزياء تقريبًا. بالطبع لا يمكننا، بشكل عملي، رصد الزمان والمكان على وحدات صغيرة عشوائية. وأفضل ما يمكننا عمله في الوقت الحالي هو تقصي المكان بشكل غير مباشر حتى مساحة ١٠-١٨ سنتيمتر والزمان حتى حوالي ١٠-٢٨ ثانية. لكن العمليات الرياضية المستخدمة في حل معادلات قوانين نيوتن ستكون أسهل لو افترضنا وجود خط للأعداد الحقيقية. لا مشكلة في هذا الأمر ما دام البشر هم من يجرون العمليات الحسابية، لكن الحواسب الآلية لا تستطيع التعامل مع الكميات اللانهائية والمتناهية الصغر؛ بل هي تتعامل مع وحدات منفصلة أو وثبات (من الرقمين واحد وصفر). يمكن جعل حجم الوثبة صغيرًا للغاية في أي عملية حسابية، لكن كلما صغر الحجم تطلب الأمر قدرة حوسبية أعلى. هذه الوثبات تكون محدودة دائمًا. وسنحتاج قدرًا غير محدود من القدرة الحوسبية لمحاكاة خط الأعداد الحقيقية.

السؤال الذي وجهه لانداور هو: هل بالإمكان أخذ الأفكار الرياضية المثالية الموجودة في قوانين نيوتن وغيرها من قوانين الفيزياء على محمل الجد؟ فما دامت القوانين أسيرة عالم مجرد من الصيغ الرياضية المثالية فلن نواجه أي مشكلة،

لكن إذا اعتبرنا أن القوانين تسكن «الكون الحقيقي»، وليس عالمًا أفلاطونيًّا ساميًا فستكون القصة مختلفة بالكامل؛ فالكون الحقيقي سيكون خاضعًا لقيود الواقع، وعلى وجه التحديد ستكون موارده محدودة؛ إذ قد يكون، مثلًا، قادرًا فقط على حمل عدد محدود من وحدات المعلومات في المرة الواحدة. وفي هذه الحالة سيكون هناك حد كوني طبيعي للقدرة الحوسبية للكون، حتى ولو بشكل نظري. وهكذا فإن الأعداد الحقيقية، المبنية عليها الفكرة الأساسية لأغلب قوانين المادة، سيستحيل وجودها.

توصل جريجوري تشاتين، الذي عمل مثل لانداور في آي بي إم، والمنظر الرائد في الأسس المفاهيمية للحوسبة، للنتيجة ذاتها. وقد عبر عن الفكرة ببلاغة بقوله: «لماذا ينبغي عليّ الإيمان بوجود عدد حقيقي إذا لم يكن بمقدوري حسابه، وإذا كنت عاجزًا عن إثبات ماهية وحداته، وإذا ما عجزت حتى عن الإشارة له؟ ... إن الخط الحقيقي بين العددين صفر و١ يبدو أشبه بقطعة الجبن السويسري.»[38] كانت وجهة نظر لانداور هي أنه لا يوجد مبرر للجوء لعمليات رياضية لوصف القوانين المادية إذا لم يكن بالإمكان تنفيذ هذه العمليات، حتى بشكل نظري، في الكون الحقيقي بسبب الحدود المادية العديدة التي تقيدها، بعبارة أخرى:

> قوانين الفيزياء التي تقوم على عمليات مستحيلة من الناحية المادية ينبغي نبذها واعتبارها غير قابلة للتطبيق.

ربما يمكن معاملة القوانين الأفلاطونية كتقريبات مفيدة، لكنها ليست «الواقع». إن دقتها اللانهائية ليست إلا فكرة مثالية، يمكن الارتكان إليها في معظم الأوقات، لكن ليس في جميع الأوقات؛ ففي بعض الأحيان سوف تضللنا، وخصوصًا عند مناقشتنا للكون المبكر للغاية.

(٦) الكون كحاسب محدود يفضح وهم القوانين المثالية

لرؤية مكمن المشكلة دعونا نر كيف يتوافق الكون الحقيقي، بموارده وقدرته على المعالجة المحدودة، مع كون أفلاطون المثالي. كما رأينا في الفصل الثالث، فإن الكون القابل للرصد محدود، وذلك لأن سرعة الضوء المحدودة تقضي بوجود أفق. ولأنه يستحيل على أي جسم أو تأثير مادي أن يتجاوز سرعة الضوء، ليس بوسع الأجسام التي تفصلها مساحات تتجاوز مسافة الأفق التواصل بعضها مع بعض.

لهذا يقول معيار لانداور إن الحاسب الآلي الكوني العملاق الذي نسميه الكون القابل للرصد لا بد أن يكون مقصورًا على الأشياء التي يحتويها حجم فضاء أقل من المسافة إلى الأفق، المنطقة التي أطلق عليها الكون القابل للرصد. في الوقت الحاضر يحتوي الفضاء الواقع في نطاق الأفق على حوالي ١٠^٨٠ ذرة وحوالي ١٠^٩٠ نيوترينو وفوتون. كل جسيم يمكنه أن يحمل وحدات قليلة من المعلومات وحسب. يمكن ترميز المزيد من المعلومات في الجرافيتونات، التي يؤمن علماء الكونيات أنها تتغلغل في كل مكان بالكون، رغم أن لا أحد يتوقع اكتشاف أحدها في المستقبل المنظور. أجرى سيث لويد، الفيزيائي النظري في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، بعض الحسابات الدقيقة وخرج برقم يبلغ ١٠^١٢٠ وحدة معلومات إجمالًا.[39] الرقم الفعلي أقل في الأهمية من حقيقة أن إجمالي المعلومات التي يحتوي عليها الكون، رغم ضخامته، محدود.

وفق فلسفة لانداور من العبث تطبيق أي قانون للفيزياء على مستوى من التفصيل يتطلب معالجة وحدات معلومات تتجاوز الحد الأقصى لوحدات المعلومات في الكون البالغ ١٠^١٢٠؛ بسبب عدم الدقة المتأصلة (أو التشوش البالغ، حسب وصف ويلر) في هذا الرقم المهول. مثال على ذلك، ينص قانون الاحتفاظ بالشحنة الكهربية على أن الشحنة التي يحملها الإلكترون ينبغي أن تظل ثابتة «بشكل تام» مع مرور الوقت. حسب رأي لانداور، ليس لهذه العبارة أي معنى؛ لأنها تعني وجود دقة لامتناهية. بدلًا من ذلك، ينبغي تصور أن القانون ينطبق بدقة محدودة حتى جزء واحد من ١٠^١٢٠ جزء. وبما أننا لا نستطيع قياس شحنة الإلكترون إلا حتى مستوى دقة يبلغ جزءًا واحدًا لكل ١٠^١٢ جزء، لا يعد هذا القيد مؤثرًا. لذا ففيما يتعلق بالعمليات اليومية كلها تقريبًا لن يهم هل الكون يُنظر إليه بوصفه حاسبًا محدودًا ذا دقة محدودة أم نظامًا متوافقًا مع القوانين الرياضية الدقيقة توافقًا لامتناهيًا.[40]

مع أن «مساحة التذبذب» في قوانين الفيزياء التي يقتضيها وجود الحد الكوني الأعلى الذي توصل إليه لويد غير مهمة بقدر كبير اليوم، فإنها ربما كانت على قدر كبير من الأهمية في الماضي. سبب هذا هو أن قطر الأفق ليس ثابتًا، بل يتزايد مع مرور الوقت بسرعة الضوء. وبهذا فإن عدد الجسيمات الذي تحتوي عليه مساحة محدودة من الفضاء يتزايد عامًا بعد عام مع اتساع الأفق ليحيط بالمزيد والمزيد من المادة، وهذا يعني أن العدد كان أقل في الماضي؛ فبعد الانفجار العظيم

بثانية واحدة، مثلًا، احتوى الأفق على حوالي ١٠^٨٦ جسيم فقط، وهو عدد كبير للغاية لدرجة تمنع عدم الدقة المعنية من تحقيق مثل هذا التباين. ومع ذلك، في وقت التضخم بلغ قطر الأفق واحدًا على تريليون التريليون من السنتيمتر، وكان عدد وحدات المعلومات التي تحتوي عليها منطقة الأفق مليار وحدة وحسب. مثل هذا العدد الصغير من الوحدات يجعل أي قانون فيزيائي يعمل بدرجة كبيرة من التقلقل، أو عدم الدقة، بما في ذلك قوانين نظرية الأوتار/النظرية M (أو أي نظرية يُفترض أن تسير عملية التضخم وفقًا لها). لقد ذكرت اقتراح ويلر بأن قوانين الفيزياء ظهرت من مرحلة «التشوش البالغ» التي سادت وقت الانفجار العظيم في شكل غير دقيق ثم «تجمدت» مع الوقت تدريجيًا. في هذا القسم سأبين كيف يمكن تفسير اقتراح ويلر، وذلك من خلال القبول بفكرة أن الكون مصدر حوسبي محدود، وبالاستفادة بعمل لانداور ولويد.

(٧) الرياضيات والفيزياء يظهران كشيء واحد

هل يمكن أن تساعدنا الفكرة الموضحة في القسم السابق على فهم الغموض العميق الذي يكتنف السبب وراء سير الكون على هذا النسق الرياضي؟ في الفصل الأول تحدثت عن «النص الخفي الكامن» للطبيعة، وحقيقة كون القوانين الحاكمة للعالم المادي رياضية في صيغتها، وكيف تمكن العلماء، من خلال العثور بالمصادفة على هذه «الشفرة الكونية»، من كشف النقاب عن الصورة التي يعمل بها الكون. في الفيزياء التقليدية تظل حقيقة توافق الطبيعة بشكل كفء مع المبادئ الرياضية الأنيقة متروكة دون تفسير. إن الفيزيائيين مجبرون على الافتراض بوجود عالمين منفصلين؛ العالم الأفلاطوني المحتوي على أجسام وعلاقات رياضية مثالية واقعة خارج كوننا المادي، وعالم المكان والزمان والأجسام المادية. وعلى هذا يعد من المسلم به وجود رابط عميق بين العالمين. يعبر بول بنيوف، من معمل أرجون الوطني، وأحد رواد الحوسبة الكمية، عن هذا الافتراض بقوة بقوله: «بطرق عديدة تتعامل الفيزياء النظرية مع الرياضيات بوصفها مستودعًا ... إذا خضع نظام تحتاجه الفيزياء للدراسة، يؤخذ من المستودع، وتُستخدم النظريات الموجودة، وإذا دعت الحاجة تُثبَت نظريات جديدة.»[41] يزعم بنيوف أن النظرية النهائية لكل شيء ليس من المفترض أن توحد جميع مناحي الفيزياء وحسب، بل ينبغي أن توفر

تفسيرًا مشتركًا للفيزياء والرياضيات أيضًا. بعبارة أخرى، لا ينبغي افتراض وجود الفيزياء والرياضيات وجودًا منفصلًا من البداية، بل ينبغي أن يظهر الاثنان من واقع نظرية واحدة متسقة للوجود. وبهذه الكيفية تكون فعالية الرياضيات في تفسير العالم المادي جزءًا أساسيًّا من نظام التوحيد.

ما دام العلماء متشبثين بالقوانين الأفلاطونية غير القابلة للتغير التي تسمو فوق كوننا المادي، فسيستحيل تحقيق التوحيد بين الفيزياء والرياضيات، وسيظل الغموض يكتنف الطبيعة الرياضية للقوانين المادية. لكن بتبني النظرة المعلوماتية المشروحة في القسم السابق، التي ترتبط فيها الرياضيات بالعالم المادي مثلما يرتبط العالم المادي بالقوانين الرياضية، يكون هناك أمل في الوصول للتوحيد الكامل. لتحقيق هذا الهدف سيكون من الضروري أن تصف هذه النظرية عالمًا متشابكًا من الرياضيات والفيزياء متسقًا مع ذاته.[42] وهنا سيبرز سؤال مثير للاهتمام لا إجابة له: هل معيار الاتساق مع الذات قاسٍ بما يكفي بحيث يميز قوانين بعينها؟ على سبيل المثال، هل ستكون ميكانيكا الكم مطلوبة كنظرية أساسية للمادة؟

جزء من السبب وراء شعور الرياضيين المتناقض حيال طبيعة الرياضيات هو أنها من ناحية تبدو كرحلة استكشاف؛ إذ يعثر الرياضيون على الأجسام والعلاقات الرياضية الموجودة من الأساس بشكل ما، لكن من ناحية أخرى تعد الرياضيات نتاجًا للفكر البشري. هل الرياضيات مُكتشَفة أم مختَرَعة؟ يؤمن أنصار الفكر الأفلاطوني بالرأي الأول؛ بأن للرياضيات واقعًا مستقلًّا وأن البشر كانوا سعداء الحظ بالوصول لهذا العالم والعثور على تطبيقات الطبيعة المثمرة هذه. لكن إذا نحينا وجهة النظر الأفلاطونية هذه جانبًا فسيكون علينا القبول بأن العقل أو الفكر يلعب دورًا أعمق في تفسير العالم المادي، وهو ما يدعو إليه أنصار المبدأ الإنساني القوي. خلص بنيوف إلى نتيجة مشابهة، فهو يرى أن اتحاد الرياضيات والفيزياء يأتي من وجود نظرية مشتركة أساسية للمجالين. وهو يقول: «بما أنه من الضروري وجود كائنات ذكية لابتداع هذه النظرية، يجب إذن أن تسمح الخصائص الأساسية للعالم المادي بوجود كائنات ذكية ... لا يعني هذا أن وجود هذه الكائنات أمر حتمي، بل إنه يجب أن يُسمح لها بالوجود.»[43] بهذه الصورة تبزغ الرياضيات والفيزياء والحياة والعقل من نظام بديهي مشترك متسق مع ذاته.

الاعتراض الأساسي على وجود أي نوع من المبادئ الكونية التي تسهل ظهور الحياة والعقل — على غرار حتمية دوف الكونية أو مبدأ كارتر الإنساني

القوي — هو أن قوانين الفيزياء الأساسية إلى جانب الظروف الأولية تحدد بالفعل ما على الأنظمة المادية عمله، وأنه لا توجد مساحة إضافية يمكن لأي قانون غائي العمل فيها، لكن لو أن قوانين الفيزياء الأساسية ليست في حقيقتها جامدة بالمعنى الأفلاطوني، وإذا كانت فضفاضة أو قاصرة في دقتها — خاصة في اللحظات الأولى من عمر الكون حين أرسيت سمة ملاءمة الكون للحياة — فستوجد ثمة فرجة أمام نزعة معززة لفرص ظهور الحياة والعقل كي توجد في سلام بجانب قوانين الفيزياء التقليدية، ولن يكون هناك أي تعارض.

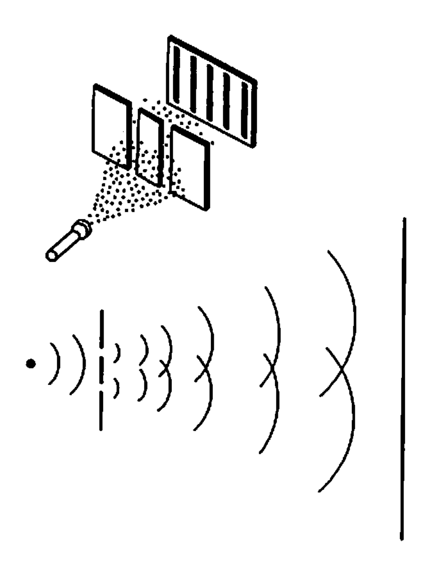
لكن السماح بنزعة مؤيدة للحياة شيء، وتحقيق هذا على أرض الواقع شيء مغاير. لم تحظ الغائية بالتفضيل، ليس فقط بسبب تعارضها مع قوانين الفيزياء، بل لكونها تتعارض تعارضًا يستحيل حله مع مفهوم السببية؛ فالغائية بطبيعتها وسيلة للتنبؤ بحالة مستقبلية ما (في حالتنا هذه الحياة) ثم تحقق هذه الحالة مع مرور الوقت. يتعارض عنصر الجبرية الواضح هذا تعارضًا حادًا مع مفهوم السببية في العلم، الذي يقضي بأن الأحداث الحالية يمكنها التأثير على الأحداث المستقبلية، وليس العكس. إلا أن الغائية تقلب الأمر رأسًا على عقب وتجعل الحالات المستقبلية تؤثر على الحاضر. كيف يمكن أن يحدث هذا؟ كيف يمكن للكون المبكر للغاية — تلك الحقبة التي كانت فيها قوانين الفيزياء في بوتقة التشكيل — أن «يعرف» عن ظهور الحياة والعقل بعد مليارات السنين؟

(٨) ميكانيكا الكم يمكن أن تسمح بنوع دقيق من الغائية

مع ما تبدو عليه الفكرة من جنون في البداية، فإنه لا يوجد ما يعيق وجود آلية تسمح للأحداث اللاحقة بالتأثير على الأحداث السابقة عليها. في الواقع هناك نظريات فيزيائية شهيرة تتضمن بوضوح عنصر «السببية العكسية»، بمعنى امتلاك الأحداث المستقبلية لقدرة التأثير على الأحداث الماضية. اقترح ويلر نظرية من هذا النوع مع تلميذه وقتها ريتشارد فايمان في أواسط الأربعينيات.[44] في نظرية ويلر-فايمان للديناميكا الكهربية يمكن أن تتحرك التفاعلات الكهرومغناطيسية للأمام والخلف عبر الزمان، لكن عليّ المسارعة بالتأكيد على أنه لا يوجد دليل تجريبي يؤيد هذه النظرية. اقتُرح أمر مشابه بخصوص الجاذبية من قبل هويل ونارليكار،[45] وبخصوص علم الكونيات الكمي من قبل جيلمان وهارتل[46]

وهوكينج.[47] ومجددًا لا تدعم أي تجارب أو مشاهدات تلك الأفكار، لكن في الوقت ذاته ليست هذه النظريات «غير علمية» بكل تأكيد، وإلى اليوم لا تزال تنويعات لها تخضع للدراسة. فقط حين تشتمل الحالة النهائية على الحياة والعقل يجفل أغلب العلماء ويتوقفون عن مسعاهم. وسبب هذا هو أن الحياة والعقل لا يعدان، من وجهة نظر أغلب الفيزيائيين، من الظواهر الجوهرية المصاحبة للوجود. إضافة إلى ذلك تعيد هذه الأفكار للأذهان فكرة قوة الحياة المهجورة منذ وقت طويل. لكن، كما أوضحت في بداية هذا الفصل، من الممكن اعتبار الحياة والعقل من ظواهر الوجود الجوهرية، وبهذا يمكن دمجهما في النظام الكوني الأشمل. من الأدلة المحتملة على الدور المحوري الذي يلعبه العقل تلك الطريقة التي تتدخل بها عملية الملاحظة في ميكانيكا الكم؛ إذ يتضح أن هذه العملية تخفي في طياتها نوعًا من الغائية. لرؤية هذا سنحتاج لدراسة تفاصيل أحد المقاييس الكمية.

من التجسيدات المعروفة لعجائب ميكانيكا الكم حقيقة أن الكيان الكمي، كالفوتون، يمكن أن يتصرف أحيانًا كموجة، وأحيانًا أخرى كجسيم (انظر الإطار ٤). يعتمد الجانب الذي يجسده الفوتون على الترتيبات التجريبية المستخدمة لملاحظته. على سبيل المثال، حين يرتطم الفوتون بلوح التصوير ويترك نقطة صغيرة، فهو هنا يكشف عن طبيعته الجسيمية. إلا أن الفوتونات يمكنها التصرف كالموجات أيضًا، باستخدام معدات مختلفة. تدبر، مثلًا، التجربة الشهيرة التي أجريت لأول مرة في القرن الثامن عشر على يد الفيزيائي وعالم المصريات الإنجليزي توماس يونج، الترتيبات موضحة في الشكل ١٠-١: تتكون التجربة من مصدر دقيق للضوء وشاشة بها شقان يسمحان بنفاذ الضوء. الصورة الصادرة عن الشقين مبينة على شاشة ثانية. قد تظن أن الصورة الناتجة ستتكون من بقعتي ضوء متقاربتين متداخلتين، لكن في الواقع الصورة الناتجة سلسلة من الخطوط الداكنة والساطعة، يطلق عليها خطوط التداخل، تظهر بسبب الطبيعة الموجية للضوء. تمر الموجات من الشقين وتنتشر على الجانب الآخر.[48] وحين تندمج الموجة الآتية من أحد الشقين بالموجة الآتية من الشق الآخر يتحد مصدرا الضوء. وإذا وصلت الموجتان وصولًا متناغمًا إحداهما مع الأخرى (أي في نفس المرحلة) تتعززان، أما لو لم تصلا في نفس الوقت فستلغي إحداهما الأخرى. قدمت خطوط التداخل الساطعة والداكنة ليانج أول دليل تجريبي حاسم على أن الضوء موجة.[49]

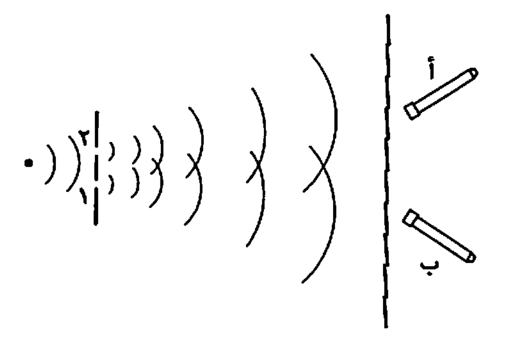


شكل ١٠-١: موجة أم جسيم، أم الاثنان معًا؟ يعرض الشكل تجربة الشق المزدوج ليانج كما تُرى من أعلى. يتسبب الضوء الساقط من مصدر دقيق على شاشة بها شقان في تكوين صورة على الشاشة الثانية. تظهر الصورة على شكل حزم عمودية ساطعة وداكنة تسمى بخطوط التداخل (مبينة في الصورة ثلاثية الأبعاد بالأعلى)، وهذا يكشف عن الطبيعة الموجية للضوء. لكن يمكن اعتبار الضوء مكونًا من مجموعة من الجسيمات (الفوتونات). يمكن أن يخفت مصدر الضوء لدرجة يمر فيها فوتون واحد في المرة الواحدة، وبهذا يصل كل فوتون إلى نقطة بعينها على شاشة الصورة. حين تُجمّع نقاط عديدة مثل هذه يمكن تبين نمط تداخل منقط، وبهذا من المؤكد أن كل فوتون «يعرف» بوجود كلا الشقين، حتى لو بدا أن أي فوتون سيمر من أحدهما فقط. وإذا تعمد مُجري التجربة النظر ليرى من أي الشقين سيمر الفوتون فلن يتكون نمط التداخل، وستضيع الطبيعة الموجية للضوء؛ إذ سيتصرف الضوء وقتها كتيار من الجسيمات وحسب.

إلا أن الأمر يصير محيرًا عند الأخذ في الاعتبار الطبيعة الجسيمية للضوء؛ أي جانب الفوتون. في الخبرات العادية يتمركز الجسيم في مكان ما من الفضاء، في حين تنتشر الموجة. يمكن أن تمر الموجة من كلا الشقين ثم تتحد مجددًا — وهذا هو أساس ظاهرة التداخل — لكن الجسيم عليه أن يمر إما من الشق الأول أو الثاني. إذا تصرف الضوء كتيار من الجسيمات، كالطلقات المندفعة من فوهة مدفع رشاش، فلن يحدث أي تداخل؛ لأن أي فوتون سيمر فقط من أحد الشقين، دون أن يعرف بوجود الشق الآخر، هذا أمر بديهي. لكن ما الذي سيحدث إذن لو

خفض مجري التجربة شدة مصدر الضوء بحيث يخرج منه فوتون واحد فقط؟ يمكن وقتها تسجيل وصول كل فوتون من خلال، مثلًا، لوح تصوير. يخلف الفوتون نقطة دقيقة على اللوح. وكل فوتون يصل إلى موضع محدد على الشاشة، فلا يتشتت بما يساعد على تكوين نمط. لكن عند إجراء التجربة، ومراكمة نتائج ارتطام العديد من الفوتونات، يبدأ نمط التداخل في الظهور، بصورة منقطة نوعًا ما، من خلال عمليات ارتطام الفوتونات الفردية باللوح. لذا، مع أن وصول الضوء سُجل على صورة نقاط متفردة شبيهة بالجسيمات، فإن التأثير الإجمالي هو إنتاج نمط تداخل موجي. هذه النتيجة تثير العجب؛ لأنها تعني ضمنًا أن كل فوتون يعرف بوجود كلا الشقين، وذلك حتى يتعاون مع غيره من الفوتونات من أجل خلق نمط التداخل الإجمالي، وذلك رغم حقيقة أن أي جسيم من المفترض أن يكون قادرًا على المرور من شق واحد وحسب. أحيانًا يعبر عن هذا بالقول إن الفوتون عبر من «كلا» الشقين، وأنه احتل مكانين في الوقت ذاته! ومع ذلك، وهذا مهم للغاية، فإن نمط التداخل سيظهر فقط لو لم يحاول مجري التجربة تحديد الشق الذي سيمر منه أي فوتون. وأي محاولة لوضع جهاز مراقبة بالقرب من الشقين لمعرفة أي طريق سلكه الفوتون ستتسبب في إفساد التجربة ككل. وإذا نجح مُجري التجربة في تبين أي الفوتونات عبر من أي شق فلن يسهم هذا الفوتون في نمط التداخل.

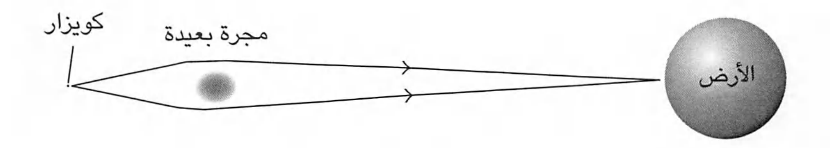
توضح تجربة الشق المزدوج توضيحًا قويًّا الدور المحوري الذي يلعبه مجري التجربة، أو المراقب، في تحديد طبيعة الواقع الكمي. لكن ما علاقة هذا بالسببية العكسية؟ تنضوي المناقشة التي عرضت لها للتو على سؤال غير مجاب عنه: متى، تحديدًا، «قررت» الطبيعة اختيار الموجة أو الجسيم؟ في الثمانينيات ركز ويلر على هذا السؤال بتخيل صورة منقحة من تجربة يونج. كانت فكرته هي تحويل شاشة التصوير إلى ستارة فينيسيّة، مع وضع زوج من أجهزة الكشف (على سبيل المثال وضع تلسكوبين صغيرين) خلفها، بحيث يكون كل واحد منهما موجهًا صوب أحد الشقين (انظر الشكل ١٠-٢). إذا تركت الستارة مغلقة فسيعمل النظام كما هو الحال في التجربة الأصلية، بحيث تتجسد الطبيعة الموجية للضوء على صورة نمط تداخل. لكن إذا فُتحت، بما يسمح للفوتونات بالمرور، يمكن استخدام أجهزة الكشف لتحديد الشق الذي أتى منه الفوتون: فإذا سجل جهاز الكشف أ مرور أحد الفوتونات فسنعرف أن هذا الفوتون عبر من الشق رقم ١، ولو سجل جهاز الكشف ب مرور أحد الفوتونات فسنعرف أنه عبر من الشق رقم ٢. (وإذا فشل



شكل ١٠-٢: **تجربة الاختيار المؤجل.** تخيل جون ويلر تعديلًا في إعدادات التجربة المبينة في الشكل ١٠-١، عن طريق إزالة لوح التصوير ووضع ستارة فينيسيّة محله (المبينة هنا بالشرائح العمودية) مع وضع زوج من التلسكوبات خلفها، بحيث يوجه كل منهما صوب أحد الشقين. حين يقترب الفوتون من الستارة قد يختار مجري التجربة تركها مغلقة، ومن ثم الحصول على النتائج التقليدية من تجربة يونج (خطوط التداخل المبينة في الشكل ١٠-١) أو فتحها والسماح للتلسكوبين بتسجيل من أي الشقين عبر الفوتون. لكن كيف يتسنى للفوتون أن «يعرف» وقت مروره من الشاشة الأولى ما سيقرره مجري التجربة؟ إن قرارات مجري التجربة اللحظية تؤثر على طبيعة الواقع (في هذه الحالة، الموجة أو الجسيم) في الماضي.

جهازا الكشف في رصد الفوتون فلن يمكننا استنتاج أي شيء.) في ظل طريقة العمل هذه تتجسد الطبيعة الجسيمية للضوء. يستطيع مجري التجربة أن يحدد على أساس كل فوتون الشكل الذي ستسير التجربة وفقًا له، ومن ثم تحديد أي جانب للضوء سيتم تجسيده؛ موجة، موجة، جسيم، موجة، جسيم، جسيم، موجة ... بترتيب عشوائي.

الآن نصل إلى مربط الفرس. بمقدور مجري التجربة «تأجيل اختياره» — موجة أم جسيمًا — حتى اللحظة التي يصل فيها الفوتون إلى الستارة الفينيسية. اللغز الذي يتوجب علينا مواجهته وقتها هو «متى» يتبنى الفوتون الشكل — الموجة أو الجسيم — الذي يختاره مجري التجربة. كيف يتسنى للفوتون أن يعرف، قبل إجراء التجربة، هل مجري التجربة سيفتح الستارة أم لا؟ هل يؤجل الفوتون قراره — موجة أو جسيمًا — حتى يتخذ مجري التجربة قراره أولًا؟ لا يمكن أن يكون هذا صحيحًا؛ لأنه لو كان الفوتون جسيمًا فسيمر من شق واحد فقط، ولو كان موجة فسيمر من الشقين. لذا يحتاج الفوتون أن يعرف، حين يصل إلى



شكل ١٠-٣: **تجربة الاختيار المؤجل الكونية.** يمكن نظريًّا إجراء التجربة الموصوفة في الشكل ١٠-٢ في سياق الأجرام الفلكية. ينحني الضوء القادم من الكويزار البعيد بفعل انحناء الفضاء الجذبوي للمجرة ويتجه صوب الأرض. يمكن للفوتونات أن تصل إلى الأرض من طريقين، يشبهان الشقين الموجودين في تجربة يونج الأصلية (شكل ١٠-١).

الشاشة ذات الشقين، على أي صورة سيكون، موجة أم جسيم (بمعنى هل سيمر من شق واحد أم من الشقين). وليس بوسعه الانتظار حتى يصل إلى الستارة الفينيسية.[50]

تخيل ويلر نسخة «طبيعية» من تجربة يونج يتحدد فيها المساران ليس من خلال شقين في لوح، بل من خلال تأثير عدسة الجاذبية لمجرة وسيطة تحني الضوء الآتي من أحد الكويزرات البعيدة (انظر الشكل ١٠-٣). إذا أمكن التوسع في تجربة الاختيار المؤجل، ولو بشكل نظري، إلى الأبعاد بين المجرية بهذه الصورة، فسيحتاج الفوتون لأن يعرف ما سيفعله (اختيار طريق واحد أو كلا الطريقين حول المجرة) «قبل وجود الأرض بمليارات الأعوام»، وليس فقط قبل أن يتخذ مجري التجربة قراره!

المثير للدهشة هو أن تجربة الاختيار المؤجل لويلر أجريت بالفعل، لكن ليس على مصدر فلكي. أجري الاختبار العملي الأول للتجربة في أحد معامل الأبحاث الأرضية على يد كارول ألي وزملائه في جامعة ميريلاند.[51] استبدل ألي صانع القرار الإنساني البطيء بمحول إلكتروني فائق السرعة يعمل بشكل عشوائي، كما عدل بضع جوانب من فكرة ويلر الأصلية. ومع ذلك، تمكن من تأكيد الزعم الأساسي الذي خرج به ويلر؛ حيث وجد أن الفوتونات التي كانت «تضرب الستارة الفينيسية» كونت نمطًا للتداخل، في حين تلك التي سمح لها العبور منها لم تكون أي نمط (تلك الفوتونات التي تم تحديد مصدرها تحديدًا صحيحًا).

كيف يمكن تفسير هذه التجربة؟ إن ما «لا» تفعله هذه التجربة هو إرساء احتمالية نقل الإشارة عبر الزمن بشكل معكوس؛ إذ إنه يستحيل نقل أي معلومات

إلى الماضي باستخدام تجربة الاختيار المؤجل. (العديد من التفسيرات الشائعة تعطي انطباعًا خاطئًا بالعكس.) وإذا وقف أحد المساعدين بالقرب من الشقين وحاول معرفة ما سيفعله مجري التجربة من خلال اختلاس النظر إلى كل فوتون وهو يمر بجواره، فإن فعل الملاحظة نفسه من جانب هذا المساعد سيعرض التجربة كلها للخطر.[52] أفضل سبيل للتفكير في تجربة الاختيار المؤجل هو اعتبار الفوتون في حالة أقل من حالته الحقيقية في غياب الملاحظة. لا أود أن أعطي الانطباع بأن الفوتون غير موجود في الأوقات السابقة، بل المقصود هو أنه في غياب الملاحظة الفعلية أو عملية القياس، فإن حالة الفوتون — التي يمكن تحديدها بدقة من خلال ميكانيكا الكم — ليست حالة موجية أو جسيمية أو حتى «قدرًا قليلًا من الاثنين». إن تحديد السمة الموجية-الجسيمية يأتي فقط في سياق التجربة الفعلية. إن غرابة تجربة الاختيار المؤجل هي أنه رغم أن فعل مجري التجربة هو المسئول عن تحديد طبيعة الفوتون الموجية أو الجسيمية، فإن الملاحظة التي تتم لها ارتباط حيوي بالماضي، بل ربما حتى الماضي البعيد للغاية. وعلى هذا فإن ما قد يختار مجري التجربة عمله اليوم يساعد في تشكيل طبيعة الواقع (على سبيل المثال موجة أو جسيم) «في الماضي»، ربما الماضي البعيد للغاية. ليس هذا مساويًا للسببية العكسية (التي تسمح لمجري التجربة بإرسال إشارات إلى الماضي)، ومع ذلك فهناك إحساس بالغائية يكتنفها. يمكنني أن أصف هذا، بالاستعانة بمصطلحات ويلر، بأنه: «غائية بدون غائية.»[53]

بدأت هذا الفصل بتقديم ما يطلق عليه المبدأ الإنساني القوي، وهو مجموعة فضفاضة من الأفكار تهدف للتأكيد على أن ظهور الحياة والعقل في الكون أمر مقدر وحتمي، أي إنها مكتوبة في طبيعة الكون في أعمق مستوياته. لكن كما رأينا، من أجل تطبيق مثل هذه الفكرة، هناك أمران مطلوبان؛ أولهما: هو أن هناك حاجة لمبدأ شامل، مبدأ للحياة لو شئت أن تسميه، يجب أن تسمح به قوانين الفيزياء الأساسية الموجودة بالفعل التي لا تكترث للحياة. المتطلب الثاني: هو السماح بعنصر الغائية بالتغلغل في علم الكونيات. لقد اقترحت أن المشكلة الأولى يمكن التغلب عليها بالتخلي عن النظرة الأفلاطونية لطبيعة قوانين المادة واستبدالها بصورة معلوماتية/نظرية تأتي فيها قوانين الفيزياء الأساسية وبها درجة من المطاطية أو المرونة؛ قدر ضئيل للغاية اليوم، لكنه كان أكبر بكثير في اللحظات الأولى من عمر الكون حين كانت القوانين والمتغيرات الداعمة للحياة في مرحلة الإرساء.

المشكلة الثانية — المطالبة بنوع من الغائية — يمكن حلها بميكانيكا الكم. بالطبع هذا هو ما آمن به ويلر؛ إذ إنه اعتبر المراقبين «مشاركين» في تشكيل الواقع المادي، وليسوا متفرجين فقط. ليست الفكرة في حد ذاتها جديدة؛ فقد سبقه الفلاسفة إليها. بيد أن الملمح الجديد الذي قدمه ويلر من خلال تجربة الاختيار المؤجل هو إمكانية تشكيل المراقبين اليوم، وفي المستقبل، لطبيعة الواقع المادي «في الماضي»، بما في ذلك الماضي البعيد حين لم يوجد أي مراقب. هذه فكرة ثورية بحق؛ إذ إنها تعطي الحياة والعقل نوعًا من الدور الخلاق في الفيزياء، جاعلة منهما جزءًا لا يمكن غض الطرف عنه في قصة الكون الكلية. ومع هذا تظل الحياة والعقل «منتجات» للكون. نحن إذن بصدد حلقة زمنية مفرغة. يفترض العلم التقليدي التتابع الخطي المنطقي: الكون ← الحياة ← العقل. اقترح ويلر إغلاق الحلقة بحيث تصير كما يلي: الكون ← الحياة ← العقل ← الكون. وقد عبر عن الفكرة الأساسية بإحدى عباراته المقتضبة بقوله: «تتسبب الفيزياء في وجود المشاركة/المراقب، تتسبب المشاركة/المراقب في وجود المعلومات، تتسبب المعلومات في وجود الفيزياء.»[54] وبهذا يفسر الكون وجود المراقبين، ويفسر المراقبون وجود الكون.[55] وهكذا رفض ويلر فكرة أن الكون آلة تخضع لقوانين ثابتة محددة مسبقًا واستبدلها بعالم مؤلف لذاته أسماه «الكون المشارك».[56] وباقتراح حلقة التفسير المغلقة، المشابهة لفكرة الاتساق الذاتي التي اقترحها بنيوف وعرضتها في القسم السابق، تحاشى ويلر ببراعة معضلة برج السلاحف الشهيرة؛ إذ لم يعد هناك حاجة لوجود سلحفاة عملاقة إذا كان بإمكان ملاءمة الكون للحياة أن تُفَسِّر نفسَها بنفسها.

(٩) سيصير الكون والعقل شيئًا واحدًا في المستقبل البعيد للغاية

إنها لقفزة هائلة من تجربة الاختيار المؤجل، التي تتعامل مع فوتون وحيد، إلى «الكون بأكمله» الذي يُفترض أنه تكون (أو على الأقل اتخذ شكلًا محددًا ملموسًا) بواسطة المراقبين/المشاركين الذين يقطنونه. ماذا عن كل تلك الفوتونات، ناهيك عن الجسيمات الأخرى، التي لا تُرصد؟ تذكر أن المراقبين لا يجب أن يكونوا من البشر؛ إذ قد يكونون على صورة أي مخلوقات عاقلة يحويها الكون. الأهم من ذلك أن المشاهدات لا يجب أن تتم في الوقت الحاضر؛ فبفضل جانب السير عكس

الزمن لميكانيكا الكم يمكن أن يتشكل الماضي من واقع المشاهدات التي تتم في أي مرحلة مستقبلية للكون.

لقد سكن البشر هذا الكوكب لفترة لا تتجاوز، بالمقاييس الكونية، طرفة العين. ومن المفترض أن تظل الأرض صالحة للسكنى لمليار عام آخر على الأقل. هذا وقت مديد يتيح لأحفادنا، الطبيعيين أو الصناعيين، من لحم ودم أو من الآلات (أو مزيج من الاثنين) أن يستوطنوا مكانًا آخر. ستمر مئات المليارات من الأعوام قبل أن تصبح النجوم شحيحة. وحتى وقتها ستظل الثقوب السوداء — بقايا النجوم الميتة التي تحتوي على كميات مهولة من الطاقة القابلة للاستغلال — موجودة. لا يوجد سبب جوهري يمنع الحياة والعقل من الاستمرار لتريليونات وتريليونات من الأعوام. يمكننا بالتأكيد أن نتخيل، مثلما يفعل العديد من كتاب الخيال العلمي، أنه بعد حقب زمنية مديدة ستنتشر الحياة والعقل في شتى أرجاء الكون، ربما من الأرض وحدها، وربما من كواكب عديدة. سيخضع جزء أكبر وأكبر من الكون للسيطرة الذكية، والمزيد والمزيد من المادة سيستخدم لمعالجة المعلومات وتكوين عالم عقلي غني، غير محدود على الأرجح. يتوقع كثير من العلماء أنه مع مرور الزمان سيصير الذكاء الفائق موزعًا في أرجاء الكون، حتى إنه في المراحل الأخيرة من الكون سيتحد هذا العقل الفائق مع الكون ذاته، وبهذا يصير العقل والكون شيئًا واحدًا. أحيانًا ما يشار لهذه الرؤية بالمبدأ الإنساني «النهائي».[57] وكما عبر ديفيد دويتش عن الأمر، فإنه: «في المبدأ الإنساني النهائي، أو إذا صح وجود أي قدر من الحوسبة اللانهائية — وهو ما أظنه أمرًا مرجحًا بشدة بشكل أو بآخر — سيكون الكون متجهًا صوب ما يمكن أن يُطلق عليه المعرفة غير المحدودة.»[58]

إذا صار الكون متشبعًا بالعقل فسيفي وقتها بالشروط الضرورية لمبدأ المشاركة الخاص بويلر، الذي وفقه سيُنظر للكون بأكمله من منظور مشاركة المراقب. إن الحالة النهائية للكون، المشبع بالعقل، ستملك القدرة على تخليق طرق للتطور تؤدي إلى الحالة النهائية ذاتها. وبهذه الصورة يخلق الكون ذاته ويوجه نفسه صوب مصيره. يقول ويلر: «إن انفجار الحياة القادم يفتح الباب أمام مشاركة المراقب كي تلعب دورًا شاملًا، وهو أن تبني، في المستقبل، ليس فقط ما نسميه ماضيها — ماضينا وحاضرنا ومستقبلنا — بل هذا العالم الشاسع بأسره.»[59]

لدينا إذن الآن إجابة علمية ثالثة للسؤال الذي يدور حوله موضوع هذا الكتاب: ما سبب ملاءمة الكون للحياة؟ الجواب الأول: هو أن الأمر مصادفة فقط،

والثاني: هو أنه نتاج لانتخاب المراقبين من الكون المتعدد، أما الجواب الثالث، الذي أوضحته في هذا الفصل: فهو أن الكون صمم وعيه الذاتي الخاص من خلال السببية العكسية الكمية أو أي آلية فيزيائية أخرى قد نكتشفها مستقبلًا. رأينا كيف يواجه أول تفسيرين قضية ملاءمة الكون للحياة، لكنهما يفشلان في تقديم تفسير كامل لأكبر الأسئلة قاطبة: لماذا يوجد الكون؟ إنهما يعجزان عن إجابة سؤال الوجود الأعظم لأن كلًّا منهما يتطلب نقطة بدء يستحيل تفسيرها — التي أسميتها بالسلحفاة العملاقة — يجب القبول بها كأمر مسلم به. لكن ماذا عن التفسير الثالث؟ هل يمكن لفكرة الكون المصنع لذاته تجاوز قضية ملاءمة الكون للحياة والإجابة عن سؤال: لماذا يوجد الكون من الأساس؟

(١٠) الحلقات الزمنية المفرغة

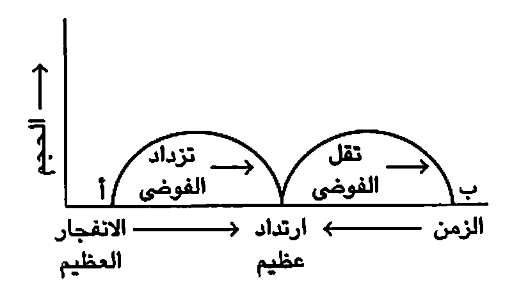
في التاسع من يناير/كانون الثاني عام ٢٠٠١ أصيب جون ويلر بأزمة قلبية. وقد قال: «هذه إشارة إلى أنه لم يعد لديّ الكثير من الوقت، لذا سأركز على سؤال وحيد: «من أين أتى الوجود؟»»[60] لكن لسوء الحظ لم تكن مساعيه بشأن الكون المشارك والمبدأ الإنساني النهائي بالفكرة المصاغة بشكل متقن بقدر ما كانت، كما اعتاد تسميتها، «فكرة من فكرة». كيف يمكن أن نأخذ هذه «الفكرة من فكرة» ونكتشف ما يستتبعه وجود الكون المفسر لذاته؛ الكون الذي يحوي داخله تفسير وجوده؟ يمكن الحصول على تلميح عن هذا الأمر من مفهوم «الحلقات السببية»، وهو الأمر المألوف في روايات الخيال العلمي التي تتناول السفر عبر الزمن. في القصة المعتادة، على غرار فيلم «العودة للمستقبل» أو حلقات المسلسل التليفزيوني «دكتور هو»، يزور المسافر عبر الزمن الماضي ويغير شيئًا ما. على سبيل المثال، في الفيلم السابق ذكره يزور بطل الفيلم، مارتي ماكفلاي، والدته وهي فتاة شابة ويتدخل في حياتها العاطفية، وبهذا يهدد زواجها بوالده ومن ثم وجوده هو نفسه. من التفسيرات الأكثر قسوة لنفس الفكرة حينما يعود المسافر للماضي ويقتل والدته قبل أن تلده.

المثير في هذه القصص هو أنها تبدو كأنها تقود إلى تناقض محتوم؛ فالماضي يحدد الحاضر، لذا إذا تغير الماضي فسيتغير الحاضر، بما في ذلك الأحداث التي تؤثر على المسافر عبر الزمن. ومع ذلك ليس وقوع هذا التناقض أمرًا حتميًّا إذا صيغت

القصة صياغة متسقة. تدبر سيناريو بديلًا لقتل الأم يعود فيه المسافر عبر الزمن خمسين عامًا، ويجد فتاة شابة على وشك التعرض للقتل على يد أحد اللصوص. يتدخل المسافر وينقذ حياة الفتاة، ثم تكبر الفتاة لتصير والدة هذا المسافر. هذه الحلقة السببية المتسقة مع ذاتها تتضمن تفسيرًا دائريًّا؛ فحياة الفتاة وأمومتها تُفسَّران من خلال وجود المسافر عبر الزمن، وأيضًا حياة المسافر عبر الزمن تُفسَّر من خلال أمومة هذه الفتاة. ثمة تجسيد أوضح لهذه النقطة حين يزور أستاذ جامعي المستقبل ويتعرف على نظرية علمية جديدة في إحدى الدوريات الرياضية، ثم يعود إلى زمنه الأصلي، ويخبر أحد تلامذته عن هذه النظرية، ومن ثم ينشر هذا التلميذ النظرية في إحدى الدوريات، نفس الدورية التي وجد فيها الأستاذ النظرية! هنا تظهر الحلقة السببية مجددًا؛ فمعرفة الأستاذ بالنظرية جاءت من التلميذ، ومعرفة التلميذ بالنظرية جاءت من الأستاذ. رغم غرابة هذه الحلقات السببية، فإنه إذا احتُرم الاتساق الذاتي بها فلن يشوبها أي تناقض.[61]

ليس السفر عبر الزمن والحلقات السببية مقصورة على الخيال العلمي وحسب. فنظرية النسبية، التي تسمح بانحناء الزمن بفعل الحركة والجاذبية، تتنبأ بظروف يمكن فيها لأجسام مادية، بما فيها المراقبون، العودة في الزمن إلى الوراء. من النماذج التي تعرض بوضوح لكون يسمح بالسفر عبر الزمن ذلك الذي ابتكره العالم كيرت جوديل عام ١٩٤٨ باستخدام نظرية النسبية العامة لأينشتاين، رغم أنه مبني على اقتراح غير واقعي بأن الكون كله يدور حول ذاته. ثمة نموذج أفضل لآلة الزمن يجسد ما يطلق عليه الثقب الدودي، وهو نوع من البوابة النجمية أو الطريق المختصر الذي يصل بين النقاط البعيدة في الفضاء. في آلة زمن الثقب الدودي يقفز المسافر الذي يمر عبر الثقب إلى المستقبل إذا سلك اتجاهًا معينًا، ويقفز إلى الماضي لو سلك الاتجاه المعاكس.[62]

ثمة فكرة أكثر إثارة من سفر الشخص أو الشيء لفترة محدودة إلى الماضي، وهي أن يصير الجسم نفسه النسخة الماضية لنفسه، على سبيل المثال الجسيم الذي يعود بالزمن إلى الوراء إلى حقبة لم يكن فيها لهذا الجسيم وجود، ثم يظل ساكنًا بلا حراك (بمعنى أنه لا يُنقل بشكل فوري «عائدًا إلى المستقبل»، بل ينتظر وحسب، مثل كل شيء آخر، حتى يأتي المستقبل إليه).[63] في ورقة عالمي الكونيات ريتشارد جوت الثالث ولي شين لي البحثية التأملية بعنوان «هل يستطيع الكون خلق نفسه؟» طبقا هذه الفكرة على الكون ككل عن طريق تعديل نظرية الأكوان



شكل ١٠-٤: كون الحلقة السببية. يوضح الشكل كونًا يتمدد انطلاقًا من انفجار عظيم عند النقطة أ، ثم ينكمش مجددًا، ثم يمر بدورة ثانية من التمدد والانكماش، لكن مع سير العمليات الفيزيائية التي يتضمنها بشكل عكسي، وهو ما يوضحه اتجاه السهم الزمني أسفل الشكل. حين تصل الدورة الثانية للانسحاق العظيم عند النقطة ب يعود الكون إلى حالته الأولية أ. يمكن إغلاق الزمن عندئذٍ على صورة حلقة بالمطابقة بين النقطتين أ وب.

الوليدة بصورة تحير العقل.[64] في نظريتهما «يكبر» أحد الأكوان الوليدة ثم يعود بالزمن إلى الوراء ليصير هو الكون الأم. في الواقع لقد نشرت نظرية عن الحلقة السببية الكونية بنفسي عام ١٩٧٢.[65] وقد تدبرت إمكانية انكماش الكون مجددًا في انسحاق عظيم، ينتهي به المطاف إلى ارتداد عظيم. إن الحالة فائقة الكثافة التي تسبق الارتداد تمحو كل بُنى المادة وتخلط جميع المعلومات الآتية من التاريخ السابق (من الناحية الفنية هي حالة فوضى تامة). الملمح الجديد الذي يقدمه نموذجي هو أنه في المرحلة التالية للتمدد وإعادة الانكماش، ينعكس الخط الزمني (تتلاشى الفوضى) بالمقارنة بالدورة الأولى من التمدد والانكماش. وفي نهاية الدورة الثانية يعود الكون إلى حيث بدأ، في الحالة التي كان عليها في بداية الدورة الأولى. من السهل وقتها مطابقة هذين الزمنين وإغلاق تاريخ الكون على شكل حلقة مفرغة، وكأنها النسخة الكونية من فيلم «يوم فأر الأرض» (انظر الشكل ١٠-٤).

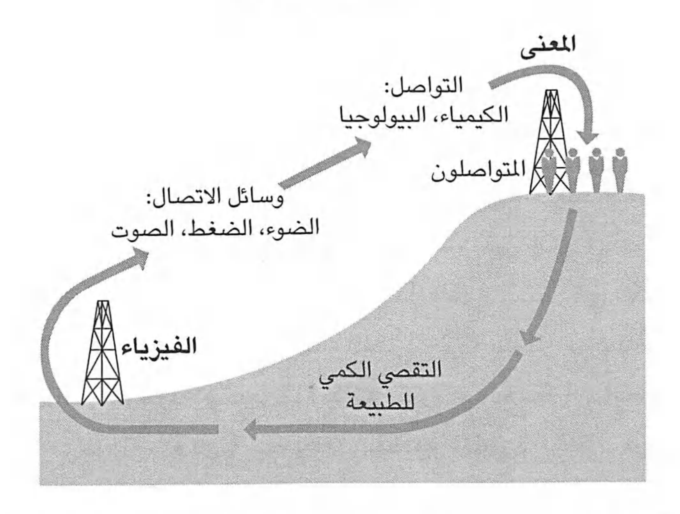
الحلقات السببية بداية طيبة، بيد أنها تترك أمورًا كثيرة دون تفسير، منها مثلًا قوانين الفيزياء؛ إذ إن فكرة الحلقات هذه تفشل في الجواب عن السؤال: «من أين أتى الوجود؟» ولا يزال بإمكاننا التساؤل: «ولماذا هذه الحلقة تحديدًا؟» وفي مثال الأستاذ الجامعي الذي عاد من المستقبل بنظرية رياضية جديدة، يظل السؤال: «ولماذا هذه النظرية تحديدًا؟» دون جواب. لا ريب أن النظرية أتت إلى الوجود دون مبتكر، لذا يمكن من هذا المنطلق القول إنها «مبتكرة لذاتها». لكن

وجود هذه النظرية بعينها لا «يُفسَّر» بهذه الصورة. فيمكننا تخيل عدد لا حصر له من الحلقات السببية التي تحوي عددًا لا حصر له من النظريات المختلفة. وفي سياق الكون يمكن لأي كون مكون لذاته أن يكون مصحوبًا بعدد لامتناهٍ من الأكوان المختلفة المكونة لذاتها، فيمكن أن يوجد كون متعدد مكون من أكوان سببية منغلقة، لكل منها قوانين فيزياء مختلفة. سنظل إذن في مواجهة مشكلة «القاعدة المُحدِّدة» (انظر الفصل التاسع)؛ ما الذي يحدد أي أكوان الحلقات السببية «تُنفَث فيها نار الحياة» وتوجد بالفعل، وأيها يضمر بوصفه كونًا محتمل الوجود لكنه ليس موجودًا بالفعل؟ (ما لم تكن جميع أكوان الحلقات السببية المتسقة ذاتيًّا موجودة بالفعل.) يجب على الحلقة المفسرة بشكل مرض أن تقدم تفسيرًا كاملًا لكل شيء، بما في ذلك القوانين. وينبغي أن تخبرنا لماذا تلائم هذه القوانين الحياة. كان هذا بالتحديد ما سعى ويلر لتحقيقه عن طريق افتراض الكون المشارك بوصفه نظامًا مؤلِّفًا لذاته، مقدمًا حلقة مغلقة للوجود. (انظر شكل ١٠-٥).[66]

(١١) كون مفسر لذاته؟

هذا يعني أن الحلقة السببية وحدها لا يمكنها تفسير وجود هذا الكون «تحديدًا»؛ لأن باللجوء لفكرة السببية العكسية من خلال الحلقات الزمنية، أو الاختيار الكمي المؤجل أو أي آلية فيزيائية أخرى يتدارسها الفيزيائيون، يستطيع المرء تخيل عدد لا حصر له من الأكوان الممكنة المؤلفة لذاتها، وأغلب هذه الأكوان لن تشبه كوننا هذا، وكثير منها لن يحوي حياة، أو قد يحوي حياة لكن دون مراقبين. لذا، من الواضح أن الركون لفكرة الحلقات السببية وحدها ليس كافيًا في حد ذاته. إن اللمح الإضافي المهم الذي يقدمه ويلر في مبدأ المشاركة هو أن الكون ليس مؤلِّفًا لذاته فقط، بل إنه يحتوي على مراقبين كذلك، لكنني لا أعتقد أن عملية الملاحظة وحدها تكفي.

ثمة إشارة إلى المكون المفقود تأتينا من حقيقة أن قوانين الفيزياء وحالات المادة في هذا الكون لها سمة خاصة تتمثل في السماح للأنظمة المادية (كالأمخاخ والجينات والحواسب الآلية) ببناء تمثيل داخلي للعالم، بمعنى أنها تخلق واقعًا افتراضيًّا يعكس الكون الخارجي. باختصار، هي تجسد معرفتها عن العالم. لا ريب أن سمة الانعكاس الذاتي للكون هذه جزء من القصة، لكنها ليست إلا



شكل ١٠-٥: **حلقة الوجود المغلقة: الكون المشارك.** تعرض «دائرة المعنى» لويلر الواقع المادي بوصفه مُفَسِّرًا لذاته، أو «مؤلفًا لذاته»، فالفيزياء تتسبب في وجود الأجسام والكائنات وفي النهاية المتواصلين الذين يبعثون بمعلومات ذات معنى عن الطبيعة. في الجزء المقابل من الدائرة يتقصى المراقبون/المشاركون الطبيعة بحثًا عن وحدات المعلومات (في نهاية المطاف من خلال ميكانيكا الكم) ومن ثم يساعدون في تشكيل الواقع المادي، حتى في الماضي البعيد. يتسبب المراقبون في وجود الفيزياء، تمامًا مثلما تتسبب الفيزياء في وجود المراقبين. وبهذه الصورة يسعى ويلر لتجنب معضلة برج السلاحف عن طريق الزعم بأن العالم المادي والمراقبين/المشاركين يفسر أحدهما وجود الآخر.

جزءًا. وكما أكدت في بداية هذا الفصل فإنه لـ «بعض» المراقبين البشريين على الأقل يتجاوز نموذج العالم الذي تبنيه أمخاخهم مجرد معرفتهم عن العالم؛ إذ إنه يتضمن أيضًا التأويل والفهم. فمن خلال العلم والرياضيات نحن لا نكتفي بمشاهدة دراما الطبيعة، بل صرنا قادرين، ولو بشكل جزئي، على كشف النقاب عن حبكتها، وأن نختلس النظر إلى النص الخفي الكامن في أعماق الطبيعة والمصاغ على صورة قوانين ومبادئ رياضية، وأن نكتسب بعض الفهم عن الكيفية التي يُبنى بها الكون ويعمل كنظام متماسك. على هذا يحتوي كوننا على قوانين وحالات لا تسمح بالمحاكاة الذاتية وحسب، بل بفهم الذات أيضًا. إن كتاب القواعد الكوني، بملاءمته للحياة وتسهيل الظهور النهائي للوعي، لم يضمن فقط أن يبني الكون وعيه الخاص، بل إنه بنى أيضًا الفهم لكيفية عمل النظام الكوني.

قد يُثار اعتراض من منطلق أن الغالبية العظمى من الناس لا يفهمون النظام الكوني. في الحقيقة عدد قليل للغاية من البشر يملكون فهمًا حقيقيًا للعلم أو الرياضيات. وحتى أبرز العلماء قد يترددون في الزعم بأنهم يملكون فهمًا «كاملًا» للكون. لكن لا ينبغي أن نركز على الجنس البشري فقط في هذا الصدد، فبتبني نظرة متفائلة تقضي بأن الحياة الذكية سوف تبقى وتنتشر في أرجاء الكون وتكتسب فهمًا أعظم لطريقة عمل الطبيعة، من السهل الاعتقاد بأنه، في المجمل، سيصل الكون إلى الفهم الذاتي الكامل في النهاية، رغم أن هذا قد لا يتم إلا بالاندماج النهائي بين العقل والكون كما ناقشت في القسم السابق.

يبدو واضحًا أن الكون لا يمكنه أن يؤلف ذاته ويفسرها دون أن يتمكن أيضًا من فهمها. وإذا شبهنا الكون بالحاسب الآلي فيمكننا النظر إلى منتجات البحث العلمي والفكري بوصفها مخرجات لـ «برنامج كوني». أما المدخلات فتتكون من القوانين التي اختيرت أو ولدت (مهما تكن كيفية حدوث هذا). من المعروف أيضًا أن نظام الحاسب الآلي لا يستطيع أن يضع في المخرجات معلومات لم تكن حاضرة في المدخلات؛ فهو يعمل وحسب على معالجة المعلومات، ولا يزيدها. تدبر الحلقة المفسرة لذاتها حيث «أ يفسر ب، و ب تفسر أ». إذا كان المقصود بالتفسير هنا مجموعة من الخطوات المنطقية (مثلما هو الحال في نظام الحاسب الآلي) فسيعني هذا أنه من الضروري أن يكون لكل من «أ» و«ب» محتوى المعلومات «عينه». أعتقد أنه يمكن الخروج بزعم مشابه ليس فقط فيما يخص محتوى المعلومات السابق ذكره (مجرد عدد الوحدات)، بل مع شيء مثل «إبداع» أو «معنى» المعلومات. وعلى غرار المقولة الشهيرة «المدخلات السيئة تؤدي إلى مخرجات سيئة»، أزعم شيئًا على غرار «المخرجات ذات المعنى تأتي من مدخلات ذات معنى». وإذا كان الكون يسير وفق شفرة كونية بارعة، وإذا كان وجود هذه الشفرة يرجع لوجود حلقة متسقة مع ذاتها ومفسرة لذاتها، عندئذٍ من الضروري أن تكون حالة الكون، في نقطة معينة من تطوره، على نفس مقدار براعة القوانين التي يسير عليها. ومن البديهي أن الكون لا يمكنه أن يفسر ذاته دون أن يمتلك هذه القدرة على تفسير الذات![67] وإذا أمكن تفسير الكون تفسيرًا تامًّا بوصفه حلقة فمن الضروري أن يعرف الكون و«يتفهم» القوانين المسئول عنها لكي يجلب هذه القوانين إلى الوجود. هل من سبيل آخر غير ذلك؟

(١٢) تفسير الوجود؟ بعض الأسئلة البارزة

في هذا الفصل الختامي أوضحت أساس إحدى النظريات العلمية عن الوجود التي تتجنب اللجوء لمفهوم «السلحفاة العملاقة»، على غرار القوانين السامية غير القابلة للتغير، التي يجب أن تُقبل على أساس الإيمان وحده. يعتمد استكمال هذا المشروع بنجاح من عدمه على عمل الباحثين المستقبليين؛ إذ تظل هناك أسئلة عديدة بحاجة للإجابة. من السهل القول إن الكون كوّن وعيه الخاص عن طريق مبدأ من نوع ما يتيح له تأليف ذاته، لكن كيف يتحقق هذا تحديدًا؟ وبأي آلية فيزيائية؟ لقد أوضحت أهمية استبدال القوانين الأفلاطونية الجامدة بأشباه للقوانين تظهر، أو تتبلور، في بيئة الانفجار العظيم الخصبة، لكن ما العملية التي تبلورها تحديدًا؟ وكيف تتم عملية الانتقاء، أم تراها عملية عشوائية، كعملية انكسار التناظر التلقائي؟ كيف يمكننا تفادي وجود «قانون لقانون الاختيار»، الذي سيعود بنا مجددًا إلى معضلة السلحفاة العملاقة؟ يجب أن تكمن الإجابة في قيد الاتساق الذاتي. في مقالة بعنوان «الحوسبة والفيزياء: دائرة معنى ويلر؟» أوضح رولف لانداور هذه النقطة بجلاء حين قال: «الحوسبة عملية فيزيائية ... وقوانين المادة، بدورها، تتكون من نظم حسابية لمعالجة المعلومات. لذا لا بد أن تكون الصيغة النهائية للقوانين الفيزيائية متسقة مع القيود المفروضة على قابلية التنفيذ المادية للنظم الحسابية، التي بدورها تعتمد على قوانين المادة.»[68] بعبارة أخرى، تحدد القوانين ما يمكن حوسبته، والقابلية للحوسبة تحدد القوانين. السؤال المطروح هنا هو: هل متطلب الاتساق الذاتي يكفي لتحديد الشكل الفعلي للقوانين؟ هل هناك حلقة واحدة متسقة ذاتيًّا، أم أكثر من واحدة؟ أم هل العدد لانهائي؟

اعتمد لانداور وويلر بدرجة كبيرة على ميكانيكا الكم في تحليلاتهما. ورغم كون ميكانيكا الكم نظرية ناجحة لدرجة تخلب الألباب في تطبيقاتها، فإن تفسيراتها تظل مشوشة ومحل نقاش محتدم. وسعيًا من ويلر لبناء سيناريو الكون المشارك الخاص به التزم بشدة بتفسير ميكانيكا الكم الأصلي، الذي يطلق عليه تفسير كوبنهاجن، ربما بسبب تعاونه في شبابه مع مهندس هذا التفسير الدنماركي نيلز بور. في تفسير كوبنهاجن (انظر الإطار ٨) يلعب فعل الملاحظة دورًا محوريًّا، وعلى هذا الأساس زعم ويلر أن الكون الذي يحتوي على مراقبين/مشاركين فقط هو الذي يمكن أن يوجد، وهو ما يعد صورة أخرى من صور المبدأ الإنساني القوي.

إلا أن أغلب علماء الكونيات يرفضون تفسير كوبنهاجن ويفضلون عليه فكرة الكون الكمي المتعدد، التي تقضي بوجود عدد لا حصر له من الأكوان الموازية. بعض هذه الأكوان، أو «فروع» الحالة الكمية، تحتوي على حياة، وغيرها لن يحتوي على حياة. إن قوانين ميكانيكا الكم لا تسمح لك بقطع الأفرع الميتة للحالة الكمية وإلقائها في سلة مهملات كونية من نوع ما. لذا يكون الثمن الذي يتوجب دفعه مقابل الأكوان ذات الحياة هو وجود عدد مهول من الأكوان الميتة، الشبيهة بطاقم التمثيل المساعد الذي يمضي دون ملاحظة، لكنه يسهم إسهامًا كبيرًا في قدرة الكون على استضافة الحياة. إذا وسعنا منظورنا للكون بحيث يعتنق الكون الكمي المتعدد فهناك العديد من الأكوان الضروري وجودها وجودًا غير مباشر من أجل وجودنا. ومن هذا المنطلق يصير الأمر مشابهًا للملاحظة التي تقضي بأن الكون الذي نراه يحتوي على فجوات عديدة من الفضاء الميت الخاوي، لكن لو لم يكن الأمر كذلك لكان الكون إما صغيرًا للغاية أو حارًّا للغاية أو كليهما، بما يمنع ظهور الحياة على كوكب مثل كوكب الأرض.

قضية أخرى تتعلق بالكيفية التي يرتبط بها الكون المؤلِّف لذاته بالكون المتعدد الموصوف في الفصول السابقة من هذا الكتاب استنادًا إلى الأفكار الآتية من نظرية الأوتار والتضخم، ففي نظرية التضخم الأبدي لم يعد الانفجار العظيم هو المصدر المطلق لجميع الأشياء المادية، بل المنشأ الأصلي هو بداية تاريخ «فقاعتنا»، أو كوننا الجيبي، المدمج في الفضاء الفائق المتضخم بشكل أبدي. لذا قد يكون من الأكثر ملاءمة تطوير نظرية لكون متعدد مؤلِّف لذاته بدلًا من كون وحيد مؤلِّف لذاته. وفي هذا الصدد قد يكون عمل ستيفن هوكينج وتوماس هيرتزوج ذا صلة.[69] إنهما أيضًا يتدبران، في سياق علم الكونيات الكمي، جانب العودة بالزمن إلى الوراء الخاص بالملاحظات الكمية؛ أن ما نختار ملاحظته اليوم يساعد في تشكيل طبيعة الكون في الماضي البعيد. إن هوكينج وهيرتزوج يترددان في قبول وجود الكون المتعدد الذي يتطور مع مضي الزمن إلى الأمام انطلاقًا من حالة كمية ماضية محددة بدقة كأمر مسلم به، مثلما هو الحال في نموذج التضخم الكوني. وبدلًا من ذلك هما يفضلان البدء من الحاضر وبناء جميع المسارات الكمية الماضية البديلة — التواريخ العديدة المتباينة التي يسمح بها عدم اليقين الكمي — التي تقود له. ومن الطبيعي أن لا يختار المراقبون إلا التواريخ المتسقة مع وجود الحياة والمراقبين، حتى لو كانت هذه التواريخ نادرة الوجود ضمن قائمة الاحتمالات الممكنة.

مجموعة أخرى من الأسئلة تتعلق بالمبدأ الإنساني النهائي والمستقبل البعيد للكون. في هذا الفصل رسمت صورة للحياة والعقل وهما يتوسعان بحيث يتشبع بهما الكون عبر فترات طويلة من الوقت، لكن هل يتسق هذا مع قوانين الفيزياء؟ يتضح لنا أنه في فئة محدودة من النماذج الكونية يمكن للحياة والعقل أن يغمرا الكون بأسره. قضية ذات صلة تتعلق بما إذا كان الكون قادرًا على معالجة كم لانهائي من المعلومات. يتركز الجواب في الكيفية التي سيتغير بها معدل التمدد في المستقبل. في الفصل السادس أوضحت كيف أن اكتشاف الطاقة المظلمة يعني ضمنًا إمكانية تكون أفق حدث كوني وأن الحالة النهائية للكون قد تكون خواء مظلمًا ليس إلا. إذا صح هذا التنبؤ فهذا يعني، كما يبين لنا التحليل الأكثر دقة، أن الكون القابل للرصد يمكن فقط أن يحتوي على مقدار محدد من المعلومات. ومن ثم سيكون الكون نظامًا ذا حالة محدودة. إن النظام الذي يمكنه التواجد فقط في عدد محدود من الحالات الفيزيائية لا يمكنه أن يدعم إلا عددًا محدودًا من الحالات العقلية، وبهذا لن يتمتع العقل الفائق إلا بعدد محدود من الخبرات والأفكار والرؤى وهكذا، وسيُحكم عليه بتكرارها مرة تلو الأخرى، مرارًا وتكرارًا. يجد الكثيرون في هذا أمرًا محبطًا (وهو كذلك بالطبع، على عكس الفكرة التقليدية عن العقل الفائق غير المحدود). وعلى النقيض سيتمكن نظام المعلومات غير المحدود من التمتع بالتجدد الدائم. من المنظور العلمي القضية أبعد ما تكون عن الحسم؛ لأنه من غير الواضح هل ستظل الطاقة المظلمة ثابتة مع الزمن؟ فإذا كان لها أن تقل إلى الصفر، مهما تم ذلك ببطء، فسيزيد حجم الأفق، وستزيد قدرة الكون على معالجة المعلومات معه. ومع أن الكون في أي لحظة سيظل حاملًا لقدر محدود من المعلومات، فإنه لن توجد حدود أمام الحجم الذي يمكن أن يصل إليه في نهاية المطاف.

إذن، كيف أتى الوجود؟ بعد كل هذا الحديث يبدو أن جميع المقاربات التي ناقشتها من المرجح أن تكون غير مُرضية. في الواقع، عند مراجعتها أجد أنها جميعًا إما تبدو سخيفة أو غير ملائمة على نحو بالغ: كون متفرد تصادف أنه يسمح بوجود الحياة، عدد مهول من الأكوان البديلة الموازية الموجودة دون سبب، كون صممته قوة عليا، أو كون مؤلف لذاته، مفسر لذاته، متفهم لذاته ذو مراقبين، يستلزم وجود سببية عكسية وغائية. ربما نكون قد وصلنا إلى طريق مسدود فرضه علينا قصور الفكر البشري. لقد بدأت هذا الكتاب بقولي إن الأديان كانت المحاولة المنهجية الأولى لتفسير الوجود، وأن العلم هو السبيل التالي، إلا أن الأديان

والعلم تستقي مناهجها من أنماط التفكير العتيقة التي شحذتها آلاف السنوات من التطور والضغوط الثقافية. إن عقولنا نتاج لجيناتنا وموروثاتنا الثقافية.[70] الآن وقد تحررنا من التطور الدارويني وصرنا قادرين على تشكيل عوالمنا الحقيقية والافتراضية، وباتت تقنيات معالجة المعلومات لدينا قادرة على اصطحابنا إلى ميادين فكرية لم يسبق لبشر زيارتها، قد تتبخر أسئلة الوجود الأزلية بعيدًا، وتتكشف بوصفها لا شيء أكثر من تأملات مرتبكة لكائنات بيولوجية حبيسة قيود عقلية موروثة فرضتها عليها أحداث تطورية عشوائية. وقد تتبخر كل مفاهيمنا عن القوى الغيبية والقوانين، عن الفضاء والزمن والمادة، عن الغرض والتصميم، عن العقلانية والعبث، عن المعنى والغموض، وتحل محلها مفاجآت واكتشافات مثيرة لم نحلم بها بعد.

النقاط الأساسية

- تواجه التفسيرات التقليدية معضلة برج السلاحف. بعض العلماء والفلاسفة اقترحوا وجود حلقات سببية تفسيرية متسقة ذاتيًا بدلًا من ذلك.
- يرفض بعض العلماء النظرة الأفلاطونية التقليدية للقوانين الفيزيائية (بوصفها علاقات رياضية مثالية ودقيقة بشكل تام تسمو فوق العالم المادي).
- قد لا تعمل قوانين الفيزياء بدقة لانهائية لأن الكون يملك قدرة حوسبية محدودة.
- الغائية، أو السببية المطلقة، مفهوم محرم في العلم التقليدي. ومفهوم الكون المقدر له أن يأتي بالحياة والمراقبين مفهوم غائي بكل تأكيد.
- يمكن أن تقدم السببية العكسية طريقًا علميًا شبه محترم إلى الغائية.
- تصف تجربة الاختيار المؤجل لويلر طريقة يمكن بها للمراقبين اليوم أن يشكلوا طبيعة الواقع في الماضي دون امتلاك القدرة على إرسال معلومات بصورة عكسية عبر الزمن.
- إذا كان الكون يفسر ذاته بذاته فمن الضروري أن يطور كيانات قادرة على تفسيره.

خاتمة: التفسيرات الجوهرية

كوبلستون: ... لكن ما تعنيه إجمالًا، لورد راسل، أنه من غير المنطقي حتى التساؤل عن أصل العالم، أليس كذلك؟

راسل: بلى، هذا رأيي.

كوبلستون: إذا كان السؤال ليس له معنى من وجهة نظرك فبالطبع من الصعب للغاية مناقشته، أليس كذلك؟

راسل: بلى، من الصعب للغاية. ما رأيك لو تحدثنا عن موضوع آخر؟

مناظرة بين الأب إف سي كوبلستون
وبرتراند راسل[1]

من البديهي لأي مناقشة تتناول أسئلة الوجود المطلقة أن تكون مزعجة لأغلب العلماء، وأن تدخل عالم التخمين غير المألوف. وقد رأيت أنه من المفيد أن أختم الكتاب بتلخيص لمزايا وعيوب وجهات النظر المتباينة التي عرضتها في هذا الكتاب. وهناك من العلماء والفلاسفة البارزين من هم مستعدون للدفاع عن كل وجهة نظر منها.

(١) الكون العبثي

هذا، على الأرجح، موقف أغلب العلماء. وفق وجهة النظر هذه فالكون لسبب غامض هو ما هو عليه، ومن قبيل المصادفة أنه يسمح بالحياة. كان يمكن للأمر أن يكون خلاف ذلك، لكن هذا هو ما نراه. ولو كان حال الكون مختلفًا، فلم نكن لنوجد كي نتجادل بشأنه. قد يكون للكون وحدة كامنة عميقة، وقد لا يكون الأمر

كذلك، لكن لا يوجد تصميم أو غرض أو هدف من ورائه على الإطلاق، على الأقل ما يمكن لنا أن نتفهمه. لا يؤمن أنصار هذه النظرة بوجود إله أو مصمم أو مبدأ غائي أو مصير محتوم، فالحياة بوجه عام، والبشر بوجه خاص، ليسوا إلا زينة لا هدف منها موجودة في كون شاسع لا معنى له، ووجودها لغز يستحيل فهمه.

ميزة هذا الرأي أنه من السهل اعتناقه، سهل حتى إنه يعد تهربًا من القضية. فإذا لم يكن هناك معنى أو نظام أعمق فلا جدوى للبحث عن أي منهما. وبوجه خاص، لا معنى وراء البحث عن علاقة بين الحياة والعقل والكون؛ إذ إنه وفقًا لهذه النظرة لا توجد علاقة، باستثناء تلك العلاقة الواهية لظهور الحياة من الكون وظهور العقل من الحياة بمحض الصدفة. عيب فكرة الكون العبثي أنه لا يمكن أن نتوقع من العلم الكشف عن طبقات جديدة أعمق من النظام أو المزيد من العلاقات بين الظواهر الطبيعية. وما دام لا يوجد نظام متسق تسير وفقه الأشياء فهذا يعني أن نجاح البحث العلمي إلى الآن لغز مبهم، ولا يوجد ما يضمن أن الوسائل المستخدمة إلى الآن في البحث العلمي ستواصل الكشف عن المزيد من الأنظمة الموجودة دون مبرر منطقي أسفل السطح الظاهر للأمور. إن وجود الحياة، ضد احتمالات كثيرة معاكسة، يُعزى لمصادفة استثنائية. والاعتماد على الحظ، مثل الاعتماد على المعجزات، ليس بالتفسير المُرضي. أيضًا يجب قبول حقيقة أن الحياة أدت لظهور العقل في مصادفة تاريخية أخرى. وبالمثل، يجب التعامل مع حقيقة أن العقول قادرة على تفهم الكون بوصفها إما مصادفة أخرى أو ربطها بفكرة مبهمة مفادها أن العقول تطورت بحيث تميز الأنماط، وأن الأنماط العميقة للفيزياء وعلم الكونيات — دون أي سبب مجددًا — تشبه أنماط العالم اليومي المعتاد على كوكبنا (وهو في الحقيقة أمر غير صحيح في معظمه).

(٢) الكون المتفرد

تقضي هذه النظرة بأن هناك وحدة كامنة عميقة في الفيزياء، وأن هناك نظرية رياضية «في مكان ما» ستفسر الأمر بأكمله، فقط لو كنا بالذكاء الكافي لصياغتها. قد تكون هذه النظرية هي نظرية الأوتار أو النظرية M أو غيرها. ومهما تكن النظرية ذاتها فإنها ستكون مبنية على مبادئ رياضية عميقة لا تترك مساحة لأي تعديل. وجميع قوانين الفيزياء، وكل المتغيرات الموجودة في النموذج المعياري،

وثوابت الطبيعة المتعددة، ووجود الفضاء بأبعاده الثلاثة والزمان ببعده الواحد، ونشأة الكون، وميكانيكا الكم، والزمكان النسبوي وسماته السببية — النظام بأكمله — سيتدفق بشكل ثابت حتمي من هذه النظرية النهائية. وستكون هذه بحق نظرية لكل شيء.

في النسخة المتطرفة لهذه النظرة، ولنسمِّها (٢أ)، يجب أن يوجد الكون على النحو الذي هو عليه، ويستحيل أن يوجد على أي نحو آخر. هناك نوع فريد متسق ذاتيًّا من الواقع المادي. ومن هنا فإن كان هناك إله، فلن يجد هذا الكيان شيئًا يفعله أكثر من أنه ربما «ينفث النار في المعادلات»، وهذا لأنه ليس أمامه اختيار، ولا توجد أي متغيرات حرة أو مساحة للتصميم. وفي النسخة الأقل تطرفًا من هذه النظرة، (٢ب)، يمكن أن يوجد الكون على نحو مغاير؛ فقد تكون هناك نظريات موحدة عديدة تصف أكثر من واقع واحد، وجميعها متسق ذاتيًّا، إلا أن هذا الواقع محل البحث هو الوحيد الصالح للحياة، دون سبب لهذا. وعلى هذا يكون وجود هذا الكون تحديدًا إما أمرًا غامضًا أو عبثيًّا؛ لأنه لا يوجد سبب يجعل هذا الواقع المتسق ذاتيًّا هو «المنشود». هذه النظرة (٢ب) يبدو أن أغلب الفيزيائيين العاملين على برامج التوحيد والجوانب الأخرى للفيزياء الأساسية، على غرار فيزياء الطاقات العالية، يعتنقونها.

ميزة فكرة الكون المتفرد أنها تحافظ على حلم الوصول لفهم كامل للوجود المادي. لا شيء يُترك دون تفسير، ولا شيء ذا طبيعة جوهرية يتم بصورة عشوائية أو بمحض الصدفة، أو يحتاج أن يصلحه مصمم مجهول. إذا كان هناك كون واحد (٢أ)، فستمثل النظرية النهائية أعظم انتصار للفكر البشري. وأخيرًا سنعرف سبب الوجود، الذي كان من الضروري أن يكون على هذه الصورة (وإلا لم يكن الوجود ليظهر على الإطلاق). عيب النظرة (٢ب) هو أنه رغم أن النظرية الموحدة الناجحة الخالية من المتغيرات ستكون بين يدينا، فإن السؤال الأساسي «لماذا هذه النظرية تحديدًا؟» سيظل دون جواب. ومعظم العلماء، في اعتقادي، سيرضون بهذا، بعدم معرفة إجابة سؤال الوجود الأساسي هذا. عيب آخر لكل من وجهتي النظر (٢أ) و(٢ب) هو أن ملاءمة الكون للحياة تُنَحَّى جانبًا بوصفها مصادفة غير ذات مغزى. ولأن النظرية تضبط كل شيء من حسن حظنا أن يكون هذا الضبط متسقًا مع الحياة والعقل (ناهيك عن الفهم أيضًا).

(٣) الكون المتعدد

قلة من العلماء، رغم أن عددهم في تزايد، يدعمون الآن نظرية الكون المتعدد بإحدى صورها أو بأخرى. تشير أغلب النماذج الكونية بقوة إلى وجود وفرة من النطاقات الكونية (على سبيل المثال، الأكوان الفقاعية، الأكوان الجيبية، المناطق الكونية المتنوعة) كملمح طبيعي عام يكون فيه الانفجار العظيم الذي تسبب في مولد كوننا ليس إلا واحدًا من انفجارات عديدة (عددها لانهائي على الأرجح) تسببت في توليد وفرة من «الأكوان». إضافة إلى ذلك تتنبأ العديد من النظريات التي تسعى لتوحيد الفيزياء بنوع من التفاوت في بعض ثوابت الطبيعة على الأقل — المتغيرات التي تدخل في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات — وفي بعض هذه النظريات يوجد تفاوت في شكل قوانين فيزياء الطاقات المنخفضة أيضًا، وهذا يفتح الباب لتباينها من منطقة كونية إلى أخرى مع برود الأكوان من نشأتها المتقدة. نموذج، أو نماذج، التوحيد المفضلة، المعروفة بنظرية الأوتار/النظرية M، يبدو أنها تتضمن نوعًا من «المشهد العام» للعديد من أكوان الطاقات المنخفضة الممكنة، دون أن يوجد شيء واضح يميز كونًا بعينه.

ميزة نظرية الكون المتعدد هي أنها تقدم تفسيرًا طبيعيًّا بسيطًا لملاءمة الكون ملاءمة عجيبة للحياة؛ إذ إن المراقبين لا يتواجدون إلا في الأكوان التي، على غرار عصيدة جولديلوكس، تكون «مناسبة تمامًا» بمحض الصدفة. أما الأكوان غير الملائمة للحياة فعددها مهول، بيد أنها بطبيعة الحال غير مسكونة بالحياة، لذا تمضي دون ملاحظة. عيب نظرية الكون المتعدد هو اعتمادها على الوفرة المهولة للكيانات الكونية، أغلبها لا يمكن حتى رصده، ولو بشكل نظري. يرى الكثيرون أن تلك الوفرة الزائدة وسيلة مبالغ فيها لتفسير ملاءمة الكون للحياة. أيضًا من العسير للغاية اختبار هذه النظرية. أما المراقبون فيُنظر إليهم بوصفهم عامل اختيار، وبهذا تُترك إمكانية الفهم الغامضة للكون (للعقل البشري على الأقل) دون تفسير. لا تقدم نظرية الكون المتعدد تفسيرًا كاملًا للوجود؛ لأنها تتطلب قدرًا كبيرًا من الفيزياء «المواتية» وغير المفسرة كي تنجح. على سبيل المثال، لا بد من وجود آلية لتوليد الأكوان، وأن تصف ميكانيكا الكم كل شيء، وأن تُقبَل قوانين موحدة من نوع ما (على غرار تلك التي تنشأ عن نظرية الأوتار/النظرية M) بوصفها قوانين «مسلمًا بها». وبهذا يفتقد الكون، على الأقل في هذه الصورة «المعتدلة»، قوة

النظرة (٢أ) (الكون المتفرد)، مع أنه ليس أسوأ حالًا من النظرة (٢ب). لا يزال قدر من الانتقاء البارع يجب عمله، ليس لكون واحد، بل لأكوان متعددة. وبهذا لم تُحل مشكلة الوجود، وإنما أزيحت لمستوى واحد أعلى.

يتفادى النموذج المتطرف للكون المتعدد، الذي اقترحه ماكس تجمارك، الانتقاد الأخير؛ إذ إنه يقضي بأن جميع الأكوان الممكنة — أيًّا كان نوعها — موجودة بالفعل، وليس فقط تلك الأكوان التي تنبثق من نموذج رياضي محدد على غرار نظرية الأوتار/النظرية M ونظرية التضخم. ميزة هذه النظرة هي أنها تفسر كل شيء، وذلك لأنها تحتوي على كل شيء. هذا يجعلها تتسم بالبساطة و«الطبيعية»، لكنه في الوقت ذاته يجعلها نظرية فارغة من المعنى؛ فالنظرية التي تفسر كل شيء هي في الواقع لا تفسر شيئًا. ومع ذلك فالكون المتعدد الذي يحوي أقل من كل شيء يعني ضمنًا وجود قاعدة تفصل بين ما يوجد بالفعل، وما يمكن أن يوجد لكنه ليس موجودًا. وهذه القاعدة تظل دون تفسير. من العيوب الأخرى لنظريات الكون المتعدد هو أنها قد تقود إلى التنبؤ بالأكوان الوهمية التي (على الأقل وفق عملية حسابية بسيطة) تفوق الأكوان الحقيقية عددًا، وهو ما قد يفضي بنا إلى نتيجة عجيبة مفادها أن الكون المرصود قد يكون وهميًّا، وبهذا لا يمكننا أخذ الفيزياء الخاصة به على محمل الجد على أي حال.

يتعرض أنصار فكرة الكون المتعدد للهجوم من جميع الجهات؛ فالمتدينون يعتبرون النظرية محاولة جنونية للتملص من فكرة الإله، ويعتبرونها: «الملجأ الأخير للملاحدة اليائسين» حسب كلمات الفيلسوف نيل مانسون.[2] وعلى الجانب الآخر ينظر العلماء الملتزمون بشدة بنظرية الأوتار/النظرية M لها بوصفها تنازلًا جبانًا عن المسئولية المهنية في مواجهة الصعوبات الرياضية.

(٤) التصميم الذكي

تقضي نظرة الديانات التوحيدية التقليدية بأن الكون من خلق الله، وأنه صُمم كي يلائم الحياة، وذلك لأن ظهور كائنات عاقلة جزء من الترتيب الإلهي. ميزة هذه النظرة أنها تقدم تفسيرًا بسيطًا للضبط الدقيق في الكون وملاءمته للحياة، إلى جانب كونها تفسيرًا «طبيعيًّا» لهؤلاء الذين قرروا لأسباب أخرى أن الله موجود. كما أنها تنسب السمات الكونية التي يغلب عليها طابع التصميم إلى مصمم، وهو

أمر يبدو معقولًا بدرجة كافية. ولكن العيب الواضح في هذه النظرة أنها تنهي النقاش عند هذا الحد؛ فمجرد إعلان أن «الرب هو الذي فعلها» لا يقدم تفسيرًا فعليًّا لأي شيء؛ إلا إذا كان في استطاعتنا أيضًا أن نحدد «كيف» و«لماذا» فعلها. كما تصطدم هذه النظرية بمعضلة من الذي صمم المصمم، إلا إذا أمكن ترسيخ فكرة الكيان الضروري الذي يجب أن يوجد، وإثبات اختلافها، وتفوقها، على فكرة الكون الضروري الذي يجب أن يوجد، وعلى النحو الذي هو عليه (كما في النظرية (٢أ)).

المشكلة الرئيسية الأخرى في نظرية التصميم الذكي أن طبيعة المصمم تختلف تمام الاختلاف عن الرب في الديانات التوحيدية التقليدية؛ على سبيل المثال، من الممكن وفق هذه النظرية أن تضم «وكالة التصميم»، إذا جاز التعبير، لجنة من الآلهة. من الممكن أيضًا أن يكون المصمم كيانًا أو كيانات طبيعية، عقلًا فائقًا متطورًا مثلًا أو حضارة فائقة في كون سابق أو في منطقة أخرى من كوننا، جعلت كوننا هذا يستخدم تكنولوجيا فائقة. وقد يكون المصمم حاسوبًا فائقًا يحاكي هذا الكون. ومن هنا فإن فكرة اللجوء إلى أن هناك «ذكاءً خارقًا» من نوع ما يمثل السلحفاة العملاقة الطافية في الهواء مليئة بالمشكلات.

(٥) مبدأ الحياة

في هذه النظرية تنشأ ملاءمة الكون للحياة من قانون أو مبدأ عام يحتم على الكون المتفرد/المتعدد أن يتطور نحو الحياة والعقل. ميزة هذه النظرة أنها «تأخذ الحياة بجدية»، بحيث لا تعاملها على أنها مكسب إضافي فقط لا تفسير له، مثلما هو الحال في النظرتين (١) و(٢)، ولا على أنها عامل انتقاء سلبي فقط، كما هو الحال في النظرة (٣). هي شبيهة نوعًا بالنظرة (٤)، لكن مع إضافة مبدأ غائي. باختصار، هذه النظرة تضع الغرض في نسيج الكون على مستوى جوهري (وليس عرضيًا)، دون افتراض وجود عامل سابق على الكون.

عيب هذه النظرة هو أن الغائية تتعارض بشدة مع التفكير العلمي التقليدي، الذي يُرى فيه التطور الموجه نحو هدف بعينه على أنه أمر غير علمي. يتساءل منتقدو هذه النظرية عن الطريقة التي «سيعرف» بها الكون عن وجود الحياة حتى يهيئ نفسه لظهورها المحتوم في المستقبل، وهذا يعود بنا لمشكلة السببية، سواء من ناحية كيفية إضافة مبدأ للحياة إلى نظام للقوانين المادية من المفترض

أنها تفسر بالفعل كل شيء، وأيضًا من ناحية غرابة فكرة السببية العكسية، التي تسير عبر الزمن سيرًا معكوسًا. وكما أوضحت، قد لا تكون هذه العيوب قاتلة، لكنها بالتأكيد تثير ضيق العلماء. ينظر العلماء الملحدون إلى أي حديث عن مبدأ توجيهي على أنه غطاء يسمح بعودة فكرة التدخل الإلهي في العلم، حتى لو كان مفهوم التدخل هنا مختلفًا عن مفهومه التقليدي. يعاني مبدأ الحياة أيضًا مشكلة اختيار الحياة والعقل تحديدًا وجعلهما «هدفًا» للتطور الكوني، دون توضيح سبب ذلك. يستطيع المرء أن يرشح أي حالة متميزة معقدة للمادة ويقدس ظهورها في مبدأ غائي. لذا يجب أن يُقبل مبدأ الحياة ذاته كحقيقة، راسخة، إلى جانب قوانين الفيزياء الموجودة دون أي تفسير. يمكن الخلاص من هذا الاعتراض إذا دمجنا المبدأ الغائي مع فكرة الكون المتعدد؛ لأن وقتها فقط الأكوان التي بها مبدأ «الحياة» مغروس في قوانينها ستحصل على فرصة الملاحظة. ومع هذا فإن اللجوء لفكرة الكون المتعدد لن يساعد إلا في نقل المشكلة من «من أين أتى مبدأ الحياة؟» إلى «من أين أتى الكون المتعدد؟» وحسب.

(٦) الكون المفسر لذاته

جميع الخيارات السابقة تصطدم بمعضلة برج السلاحف، باستثناء النظرة (٢أ)، ونسخة تجمارك من الكون المتعدد (تحت النظرة (٣)) والتصميم الإلهي (٤). ثمة شيء لا يمكن تفسيره يجب القبول به بوصفه أمرًا مسلمًا به، ثم تُبنى بقية النظام التفسيري استنادًا على هذا الأساس. من طرق تجنب هذا الفخ اللجوء لفكرة الحلقة التفسيرية المغلقة أو الحلقة السببية. هنا يفسر الكون (المتفرد أو المتعدد — إذ إن الفكرة تصلح لكلا النوعين) نفسه. بل إن هناك نماذج تتضمن حلقات سببية أو سببية تسير عبر الزمن سيرًا عكسيًّا، يخلق فيها الكون نفسه. ميزة هذا النظام هو أنه مستقل بذاته، ويجنبنا معضلة برج السلاحف ومن ثم الاضطرار للإيمان بوجود سلحفاة عملاقة في نهاية المطاف. لكن عيبه هو أنه لا يوضح لنا لماذا هذا الكون — هذا الكون المؤلف لذاته والمفسر لذاته تحديدًا — هو الكون الموجود، وليس أيَّ نظام آخر مفسرًا لذاته. ربما جميع الأنظمة المفسرة لذاتها موجودة وفقط تلك التي تشبه نظامنا هي التي تُلاحظ لأنها تلائم الحياة، وهنا نكون بصدد تنويع آخر على مفهوم الكون المتعدد. أو ربما، وهي الفكرة

الأفضل، لا يكون الوجود شيئًا يُمنح من الخارج عن طريق عامل خارجي «ينفث نار الحياة»، بل ربما يكون شيئًا مولدًا لذاته. لقد اقترحت أن الحلقات ذات الاتساق الذاتي القادرة على تفهم نفسها هي القادرة وحدها على خلق ذاتها، وبهذا فقط الأكوان التي بها حياة وعقل (أو إمكانية ظهورهما) هي التي توجد حقًّا.

(٧) الكون الوهمي

نحن نعيش في عالم من المحاكاة الحاسوبية، وما نظنه عالمًا حقيقيًّا ليس إلا واقعًا افتراضيًّا مصاغًا ببراعة. هذا تنويع على سيناريو التصميم لكنه مُحسَّن بحيث يلائم عصر المعلومات. تتمتع هذه النظرة بميزة البساطة التي تتمتع بها فكرة التصميم، لكن عيبها هو أنها تقوض البحث العلمي. إذا كان الكون صوريًّا فما الداعي لمحاولة تفهم كيفية عمله إذن؟

(٨) لا شيء مما سبق

هل تغافلت عن أي سيناريو آخر؟[3]

أنا عن نفسي أميل إلى التفسيرين (٥) و(٦)، رغم أن العديد من التفاصيل لا تزال بحاجة للعمل عليها. إنني آخذ الحياة والعقل والغرض مأخذ الجد، وأقر بأن الكون على الأقل «يبدو» كأنه مصمم بدرجة عالية من البراعة. لا يمكنني قبول هذه الملامح كحزمة أعاجيب تصادف وقوعها، وأنها موجودة دون تفسير منطقي. يتراءى لي أن هناك نظامًا شاملًا ومخططًا حقيقيًّا تسير الأمور عليهما، فللكون «هدف» ما. لكنني أيضًا غير مرتاح لفكرة الركون لتفسير الصدفة العشوائية والتخلي عن أي محاولات تفكير إضافية والتسليم بأن الوجود سيظل لغزًا أبديًّا.

كثيرًا ما يقال إن العلم خالٍ من التحيزات، أو على الأقل ينبغي أن يكون كذلك. لا شك أن العلم، حين يمارس بالشكل السليم، هو أقل المساعي الإنسانية تأثرًا بالأهواء والمعتقدات المسبقة. لكن في نهاية المطاف لا مفر من أن يكوّن العلماء (وأنا منهم) آراءً خاصة بهم تقوم على نظرة أكثر عمومية عن العالم، تتخللها عناصر شخصية وثقافية بل حتى دينية. كثير من العلماء قد ينتقدون ميلي للتفسيرين (٥) و(٦) قائلين إنهما يخفيان منظورًا دينيًّا. وقد يزعمون أن نظرتي للعقل

البشري وقدرتنا الاستثنائية على فهم العالم من خلال العلم والرياضيات بوصفهما حقيقة ذات مغزى جوهري تفضح ميلي لتلك النظرة الدينية العامة التي تضع الإنسان في موضع خاص في الوجود. وهذا رغم إيماني بأن الإنسان العاقل ليس أكثر من نتاج جانبي عرضي لعمليات طبيعية عشوائية. ومع ذلك فإنني مؤمن بأن الحياة والعقل متغلغلان في أعماق نسيج الكون، ربما من خلال مبدأ ضبابي غير مدرك بالكامل للحياة، وإذا أردت أن أكون أمينًا فسيكون علي أن أقر بأني أستشعر هذا في قلبي أكثر من عقلي. لذا ربما يعد اقتناعي هذا دينيًا بشكل ما.

أما أصحاب القناعات الدينية فسيعتبرون التفسير (٤) صحيحًا بما لا يدع مجالًا للشك، وسيرفضون محاولتي لبحث ما وراء مفهوم التصميم ويدينونها بوصفها علامة على أنني استسلمت بالكامل لعقيدة المذهب العلمي. على النقيض من ذلك، فالعلماء الذين يأملون من قلوبهم في صحة التفسير (٢) لا يحاولون إخفاء التزامهم بنوع من الأيديولوجية. لا أنكر حق أنصار مبدأ توحيد الفيزياء في ذلك؛ فهم إذا استطاعوا التوصل إلى نظرية التوحيد الخالص فلن تعد هذه أعظم نظرية علمية على مر الزمان فقط، بل ستكون النظرية التي ستنهي جميع النظريات. ومع ذلك فإن عداوة بعضهم للتفسيرات (٣) و(٤) و(٥) و(٦) تشي بما هو أكثر من مجرد رأي علمي. هناك أيضًا مجموعة كبيرة من العلماء تتمنى — ربما ردًا على التركيز على الإنسان الشائع في الفكر الديني التقليدي، أو مدفوعة بالفزع من قسوة البشر وتدميرهم للبيئة — أن تقلل من أهمية البشر أو حتى تحقر منهم، وما يستتبعه ذلك من تحقير لسمات بشرية مثل الذكاء والفهم. مع هؤلاء العلماء أي محاولة لاقتراح نزعة غائية أو تطور تدريجي نحو الوعي، أو حتى صوب درجة أعلى من التعقيد، هو أمر محرم. وحججهم في ذلك تشي بوجود أجندات أيديولوجية خفية. ومن هذا المنطلق هم لا يختلفون كثيرًا عمن استقروا مقدمًا على تفسير ديني ما للطبيعة، ثم يطوعون الحقائق العلمية كي تناسب معتقداتهم المكتسبة سلفًا. في الوقت ذاته يجب الاعتراف بأن أغلب العلماء يلتزمون بالتفسير (١)، ويواصلون عملهم تاركين الأسئلة الكبيرة للفلاسفة ورجال الدين.

الهوامش

تمهيد وشكر وتقدير

(1) Bernard Carr and Martin Rees, "The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World," *Nature*, vol. 278 (1979), p. 605.

(2) John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

(3) Martin Gardner, "WAP, SAP, PAP, & FAP," *New York Review of Books*, May 8, 1986.

(4) Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005), p. 138.

(5) Bernard Carr (ed.), *Universe or Multiverse?* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007).

(6) Paul Davies, *The Mind of God* (New York: Simon & Schuster, 1992).

الفصل الأول: الأسئلة الكبرى

(1) I shall restrict my discussion to life as we know it. The possibility of exotic forms of life based on other chemical elements, or other physical processes entirely, is certainly fascinating but completely speculative. If

life is common, we have no reason to suppose that our form of life is atypical. Readers interested in a less conservative approach will find an up-to-date discussion in Peter Ward, *Life as We Do Not Know It* (New York: Viking, 2005).

(2) Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 20 (1982), p. 16.

(3) See, for example, David Park, *The Grand Contraption: The World as Myth, Number, and Chance* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2005).

(4) The term was popularized by the physicist Heinz Pagels in *The Cosmic Code* (New York: Simon & Schuster, 1982).

(5) See, for example, Edward Craig, *The Mind of God and the Works of Man* (New York: Oxford University Press, 1987).

(6) See, for example, John W. Carroll, *Laws of Nature* (New York: Cambridge University Press, 1994); and Alan Padgett, "The Roots of the Western Concept of 'Laws of Nature': From the Greeks to Newton," *Perspectives on Science and Christian Faith*, vol. 55, no. 3 (December 2003), p. 212.

(7) Lucretius, *De rerum natura*, edited by M. F. Smith (Indianapolis: Hackett Publishing, 2001), p. 138.

(8) Marcus Manilius, *Astronomica*, translated by G. P. Goold (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1977), p. 121.

(9) Augustine, *The Literal Meaning of Genesis*, vol. 2, translated by J. H. Taylor (New York: Paulist Press, 1983), p. 92.

(10) Stillman Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo* (New York: Doubleday-Anchor, 1957), p. 70.

(11) James Jeans, *The Mysterious Universe* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1930), p. 140.

(12) Unbeknownst to me, Lindsay's naive question was being asked at about the same time by one of the world's leading theoretical physicists,

Eugene Wigner: see his "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences," *Communications in Pure and Applied Mathematics*, vol. 13, no. 1 (1960), p. 1.

(13) A minority school of thought says that this is all baloney, that the laws of physics are just human inventions constructed for convenience, and that there are no "real" laws at all. I am going to ignore this dissenting position because I think it is totally wrong and does not merit serious discussion.

(14) Nancy Cartwright, *How the Laws of Physics Lie* (New York: Oxford University Press, 1983).

(15) David Mowaljarli and Jutta Malnic, *Yorro Yorro* (Rochester, VT: Inner Traditions, 1993), chapter 23.

(16) Richard Feynman, "The Meaning of It All," 1963 John Danz Lecture, published under the same title by Addison Wesley (Reading, MA: 1998), p. 14.

(17) Steven Weinberg, *The First Three Minutes* (New York: Basic Books, 1977), p. 149.

الفصل الثاني: تفسير الكون

(1) *K* is the symbol for the unit of temperature called the Kelvin. A temperature interval of one degree Kelvin is the same as an interval of one degree Celsius, but the Kelvin scale starts from absolute zero, or about −273°C.

(2) Roughly speaking, this is the final state into which a closed system settles, following which no large-scale changes occur. For a simple gas, it is a state of uniform pressure and density.

(3) An ionized gas, also called a plasma, is one in which the atoms are dissociated into electrons and nuclei, as is caused by extreme heat. I shall describe the primordial gas in more detail in Chapter 3.

(4) The subsequent scattering of the CMB from early clumps of gas produced subtle effects in the polarization of the radiation, effects that have also been detected by WMAP.

(5) Reproduced by kind permission of the correspondent.

(6) Sometimes cosmologists refer to "the last scattering surface," the spherical shell of matter surrounding Earth from which the radiation emanates at the moment of transition from opaque to transparent. This transition is technically termed the *decoupling* of matter and radiation.

(7) For a careful exposition of this point, see Tamara Davis and Charles Lineweaver, "Misconceptions About the Big Bang," *Scientific American* (March 2005), p. 36.

(8) This issue is complicated by the theory of inflation, which I shall describe in Chapter 3.

(9) Analogously, when a ship disappears over the terrestrial horizon, we do not infer that the Earth ends there.

(10) This admirable term was suggested by Alan Guth, and I have decided to adopt it here.

(11) Time is not a dimension of space, but a dimension of spacetime.

(12) This won't apply if theories about "branes" turn out to be correct—see Hiding Dimensions of Space.

(13) To sound a note of caution, some cosmologists are concerned that the largest features mapped by WMAP (technically, the lowest multipoles) display some oddities not predicted by the conventional big bang model of the universe. It is too soon to know whether this is due to problems with the equipment and/or data analysis or if it points to something significant and unexpected about the structure of the universe.

(14) The limited accuracy of these observations cannot establish that the universe is *exactly* flat. What they tell us is that if the universe is

shaped like Einstein's hypersphere, then the radius of the hypersphere is exceedingly large, so that within the volume of space probed by our instruments we cannot discern any curvature. Similar remarks apply to any negative curvature.

(15) Even if space is flat, it need not necessarily be infinite. That is because Einstein's theory says nothing about the *topology* of space. One possible topology involves identifying points. Think of a sheet of paper on which a particle enters from the left, traverses the paper, and exits from the right. Now imagine rolling up the paper and gluing the left and right edges together. The particle that previously exited from the right would now reappear from the left. Some cosmologists have suggested that space might be like this and resemble a hall of mirrors. If we inhabited such a universe, it might look to us at first sight as if "the hall of mirrors" extended to infinity, but on closer inspection we would discover that a finite volume of space repeats itself, infinitely often. It is possible that the universe consists of three-dimensional cells, repeated periodically, and that light which we take to be from far away is in fact wrapping around one or more times, creating the illusion of distance. More complicated shapes, such as the three-dimensional analogue of the surface of a segmented soccer ball, have also been suggested.

(16) I am being a little cavalier with my terminology. The word *matter* here includes both dark matter and dark energy, topics I shall discuss in Chapter 6.

(17) *Flatland: A Romance of Many Dimensions* by E. A. Abbott is now available in an edition annotated by Ian Stewart (New York: Perseus Publishing, 2001).

(18) See, for example, Lisa Randall, *Warped Passages* (New York: Harper-Collins, 2005).

(19) Gerald Whitrow, "Why Space Has Three Dimensions," *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 6, no. 21 (1955), p. 1.

الفصل الثالث: كيف بدأ الكون؟

(1) The helium that is used to fill balloons comes not from the big bang, but from the product of radioactive decay in the Earth's interior.

(2) This "happy medium" is related to the fact that space is flat.

(3) Inflation was originally invented by Guth to solve a different problem—the absence of entities known as magnetic monopoles. Alan Guth's own account can be read in his book *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (New York: Perseus Publishing, 1998).

(4) The word *scalar* means that the field can be described simply by specifying a single number (the strength of the field) at each point in space. By contrast, an electric field has both a magnitude and a direction at each point; it is a so-called *vector field*. Gravitation is more complicated still—a *tensor field*—requiring even more numbers at each point to fully describe it.

(5) Don't confuse the mechanical force exerted by the pressure, which is huge and outward (though contained by Earth), with the gravitational force that this pressure generates, which is tiny and inward.

(6) Pressure and energy are normally measured in different units. To discuss the correspondence between these quantities you must divide the pressure by c^2, which then gives it the same units as energy density. This large divisor explains why energy gravitates so much more strongly than pressure.

(7) Mechanically, the scalar field sucks—fiercely; gravitationally it repels—gently. You might be wondering why, if this scalar field sucks so much, it doesn't pull itself into a smaller and smaller region. That is

because it is spread uniformly through space, so there is no privileged place for it to converge: it is being sucked every way at once, and there is no net force to pull it to any particular place.

(8) There is, however, a further issue about the creation of matter, related to the question of antimatter. I shall defer this complication until the next chapter.

(9) Good popular accounts have been written by some of the originators. In addition to Guth's book, see, for example, Andrei Linde, *Inflation and Quantum Cosmology* (San Diego, CA: Academic Press, 1990).

(10) The Born-Einstein Letters, translated by Irene Born (London: Macmillan, 1971), p. 91.

(11) Particle creation by the expansion of the universe is a purely gravitational (and normally very weak) process. It should not be confused with particle production from the decay of the inflaton field, or from heat energy (such as occurred at the end of inflation).

(12) "Ex nihilo, nihil fit." *De rerum natura in Lucretius, On the Nature of the Universe*, translated by R. E. Latham (New York: Penguin, 1951).

(13) In Chapter 10, I shall consider the extremely speculative idea of backward-in-time causation, where the big bang could be said to have been caused by later events retroactively.

(14) *City of God*, Book xi.6, in *Basic Writings of St. Augustine*, edited by W. T. Oates (New York: Random House, 1948).

(15) It is sometimes conjectured that in the cyclic model the state of the universe is somehow reset at the bounce (technically, the entropy is reduced). However, this step is rather contrived. It either has to be imposed by hand or tied to a more complicated—and speculative—model of the sort I explain in Chapter 10.

(16) For the mathematically inclined, the Planck length is given by $(Gh/2\pi c^3)^{1/2}$.

(17) You may wonder why quantum effects of electromagnetism set in at atomic dimensions, whereas quantum effects of gravitation are predicted to be important only on much smaller scales of size. The reason stems in part from the huge disparity in strength between the two forces, a topic I shall discuss in the next chapter.

(18) This is known technically as the "no-boundary" proposal.

(19) Hawking's own account can be found in his book *A Brief History of Time* (New York: Bantam, 1988).

(20) John Leslie, *Universes* (New York: Routledge, 1989), p. 95.

(21) This is a curious inversion of the usual situation in quantum mechanics. In the inflating universe, the most conspicuous consequences of quantum mechanics are on the *largest* scale of size.

(22) In this respect, eternal inflation is reminiscent of the old steady-state theory of cosmology, championed by Hoyle, in which the universe has no beginning or end, but new matter is continually created as the universe expands so as to maintain an unchanging average density. Where eternal inflation differs is that entire universes are created rather than particles of matter.

(23) Andre Linde, "Inflation and Quantum Cosmology," in *300 Years of Gravitation*, edited by S. W. Hawking & W. Israel (New York: Cambridge University Press, 1987), p. 618.

(24) Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005), chapter 11.

(25) This is something of a simplification. When using the theory of relativity, we have to remember that distances, like times, are not absolute but relative, so we must always specify the circumstances of the observer when discussing a distance. Paradoxically, if the observer is located inside one of the bubbles (as we are within our pocket universe), it is possible for the size of the bubble to be *infinite* relative to that observer, even though, viewed from outside the bubble, it is finite.

(26) David Hume, *Dialogues Concerning Natural Religion*, edited by Martin Bell (New York: Penguin, 1990), part V, p. 77.

الفصل الرابع: مِمَّ يتألف الكون؟ وكيف تترابط أجزاؤه؟

(1) Even uranium plays a role in life on Earth. Its slow radioactive decay over billions of years keeps the interior of our planet hot, driving the convection currents that move the continental crust around, an essential process for recycling carbon and other substances used to maintain our ecosystem.

(2) Positrons are today familiar from their role in medical imaging in the form of positron emission tomography (PET) scans.

(3) These decay schemes also involve neutrinos.

(4) When heavy particles decay into lighter ones, the excess mass-energy appears in the form of kinetic energy: the decay products are created moving at high speed.

(5) Why stop there? Perhaps quarks (and maybe leptons too) are made out of yet smaller particles, which are in turn made of even smaller particles, and so on. Such ideas have been tried. But most physicists think that quarks and leptons are the bottom level, in terms of composite particle combinations. They may not be the last word, however, as I shall discuss at the end of this chapter.

(6) The masses of the neutrinos are still being worked out. They all seem close to zero.

(7) The stability of neutrinos is more complicated. They don't decay as such: instead, they keep rotating their identities between different neutrino flavors.

(8) The word *recoil* is a bit misleading here, because if the charges were of opposite sign, the deflection would be inward rather than outward. As a result of Heisenberg's uncertainty principle, the momentum

transfer can be negative in quantum processes, causing an inward jerk rather than an outward deflection. However, the general picture in terms of virtual photon exchange is the same.

(9) Mathematically speaking, one integrates over a weighted set of possibilities.

(10) This procedure is known as perturbation theory.

(11) This statement refers to the photon's rest mass (see Box 1).

الفصل الخامس: إغراء التوحيد الكامل

(1) How might a process that takes on average much longer than the age of the universe show up in an experiment? The answer lies with the statistical nature of quantum mechanics. There is a certain probability that, from among a huge number of protons (many tons of material), one or two protons will decay in, say, a month. The experimenters looked for such occasional isolated decay events, but saw nothing.

(2) It is important to understand that the particles emanating from high-energy collisions are not just the constituents of the impacting bodies: many of them are created *ab initio* from the energy of impact. For example, physicists routinely create electron-positron pairs, or proton-antiproton pairs.

(3) The link between the spins of particles and the collective properties of assemblages of them as governed by the Pauli exclusion principle is not obvious, and has to do with certain abstract symmetries involved in the quantum concept of spin.

(4) This law has the same general form as gravitation, as shown in Figure 1-1.

(5) The technical term given to this difficulty is *non-renormalizability*.

(6) It does have something to say about the ultrahot, very early universe, though, and it is not impossible that some stringy relic may be found by cosmologists. But so far there is no sign of any.

(7) The problem of multiplicity is greatly exacerbated by the existence in the theory of so-called fluxes, analogous to lines of electric or magnetic force, which can thread through the compactified spaces in a colossal number of different ways.

(8) Amazingly, the idea of "an extensible model of an electron" as a membrane was introduced into theoretical physics as long ago as the 1960s, by Paul Dirac. In the 1980s the class of extended objects was generalized from strings and membranes to any number of higher dimensions that is less than the dimensionality of the space in which they moved. This wider class became known as *p*-branes. The early history of branes is reviewed by Michael Duff in "Benchmarks on the Brane" (hep-th/0407175v3; February 23, 2005).

(9) Polchinski called these membranes D-branes, as distinct from *p*-branes, and like *p*-branes they can be generalized to three, four, and so on, dimensions.

(10) Michio Kaku, "Unifying the Universe," *New Scientist*, April 16, 2005.

الفصل السادس: قوى الكون المظلمة

(1) *Light elements* is the term used to mean the lowest-mass elements. They include deuterium—which, confusingly, is also known as "heavy hydrogen."

(2) The word *massive* here means "high mass": it does not mean large in physical size. WIMPs would be pointlike particles but individually weighing more than the heaviest atoms.

(3) An excellent account of dark matter in its different forms is given by Joel Primack and Nancy Abrams, *The View from the Center of the Universe* (New York: Riverhead, 2006).

(4) Stephen Baxter, *Time* (New York: HarperCollins, 1999).

(5) P.C.W. Davies, "Cosmological Event Horizons, Entropy and Quantum Particles," *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, vol. 49, no. 3 (1988), p. 297.

(6) Robert R. Caldwell, Marc Kamionkowski, and Nevin N. Weinberg, "Phantom Energy: Dark Energy With $w < -1$ Causes a Cosmic Doomsday," *Physical Review Letters*, vol. 91 (2003), 071301–1.

(7) Freeman Dyson, "Time Without End: Physics and Biology in an Open Universe," *Reviews of Modern Physics*, vol. 51, no. 3 (1979), p. 447.

(8) It is possible that a supercivilization could engineer a new "baby" universe as an escape route: see Chapter 8.

الفصل السابع: كون ملائم للحياة

(1) Nicolaus Copernicus, *De revolutionibus orbium coelestium* ("On the Revolutions of the Heavenly Spheres") (Amherst: Prometheus Books, 1995), p. 8. Originally published in Nuremberg, 1543.

(2) The anthropic principle has a large literature. A comprehensive treatment with many references is given by John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

(3) Brandon Carter, "Large Number Coincidences and the Anthropic Principle *in Cosmology," in Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, IAU Symposium 63, edited by M. Longair (Dordrecht, Netherlands: Reidel, 1974), p. 291.

(4) See, for example, Paul Davies, *The Fifth Miracle* (New York: Simon & Schuster, 1998). Actually, it is rather more favorable for the transfer to

occur the other way—that is, for life to start on Mars and come to Earth inside ejected rocks. Either way, one would still be dealing with a single genesis event.

(5) Some science fiction writers, and a few scientists, have speculated about life based on very different chemical or physical processes, and it's true that scientists have no clear idea of what might or might not be possible. Even harder to assess are the possibilities for life based on radically different laws of physics. I shall adopt the conservative position that, in the absence of evidence to the contrary, life is restricted to something close to what we know.

(6) I shall discuss only a handful of examples. Readers wanting a more complete treatment should refer to Barrow and Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle.*

(7) As a result, neutrinos are emitted. The neutrino flux from the sun has been measured with very sensitive equipment. Neutrinos have extremely low (rest) mass. If that were not the case, protons would lack the necessary mass-energy to turn into neutrons inside stars, thus preventing the sun from shining steadily and sustaining life.

(8) For full details, see Richard Dawkins, *The Ancestor's Tale* (New York: Houghton Mifflin, 2005).

(9) Lithium and beryllium get manufactured as by-products of other reactions.

(10) H. Oberhummer, A. Csótó, and H. Schlattl, "Stellar Production Rates of Carbon and Its Abundance in the Universe," *Science*, vol. 289 (2000), p. 88.

(11) The word *ylem* is an obsolete Middle English word meaning the primordial substance from which matter formed. Gamow used the term to mean a mixture of protons and neutrons.

(12) Tritium is an isotope of hydrogen with nuclei containing two neutrons and one proton, so it is even heavier than deuterium.

(13) By this, Gamow means a nucleus with either two protons and three neutrons or three protons and two neutrons. As I have mentioned, neither configuration is stable.

(14) George Gamow, *My World Line: An Informal Biography* (New York: Viking, 1970), p. 127. Reprinted courtesy of the Gamow Family Estate.

(15) More familiar is the decay of a neutron into a proton, with an attendant release of an antineutrino. The reverse process I am discussing here, with a proton turning into a neutron, can happen in an imploding star because the intense gravitational field that is created supplies the necessary energy.

(16) There are other, less efficient, ways for stars to divest themselves of carbon, so it is not clear how critical the neutrino interaction strength is to the fine-tuning argument for this element.

(17) Neutron decay is a statistical process subject to quantum fluctuations. Half-life is defined as the average time it takes for exactly half of a population of neutrons to decay.

(18) Max Tegmark, Anthony Aguirre, Martin Rees, and Frank Wilcek, "Dimensionless Constants, Cosmology and Other Dark Matters," *Physical Review I*, vol. 77 (2206), p. 23505.

(19) That is, why is the model so wrong—I don't think we made a mistake in our sums!

(20) Inflation requires dark energy to be non-zero for a very brief time just after the big bang, but physicists still assumed that in the post-inflation phase the dark energy would drop to precisely zero.

(21) Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005), p. 78.

(22) As far as I know, Sidney Coleman of Harvard University, who helped to pioneer the subject of symmetry-breaking in the early universe,

was the first person to use the phrase "the big fix" to describe the dramatic suppression of dark energy.

(23) Steven Weinberg, "Anthropic Bound on the Cosmological Constant," *Physical Review Letters,* vol. 59 (1987), p. 2607.

(24) The formation of galaxies depends delicately on the magnitudes of both the dark energy and the primordial density fluctuations. In my discussion I am assuming that the latter is held fixed while the former is allowed to vary. If both quantities are allowed to vary together, the analysis is more complicated. See, for example, Tegmark et al., "Dimensionless Constants, Cosmology and Other Dark Matters."

الفصل الثامن: هل تحل نظرية الكون المتعدد لغز جولديلوكس؟

(1) That solitary individual was I. L. Rozenthal, who succeeded in publishing a credible review paper (*Soviet Physics Uspekhi,* vol. 23 [1980], p. 296). This was no mean feat in a regime that strongly discouraged any discussion that departed from the strict Marxist philosophy of dialectical materialism.

(2) The various constants I have mentioned assume numerical values that depend on the system of units used to express them. For example, the speed of light is either (roughly) 300,000 km per second or 186,000 miles per second. Constants may be combined to form dimensionless ratios, which are pure numbers, independent of units. For example, the square of the charge on the electron divided by Planck's constant and the speed of light is a pure number with a value close to 0.001617. When considering whether the laws of physics contain free parameters that might vary from place to place, it makes sense only to discuss variations of such dimensionless ratios.

(3) Neutrinos fall outside this scheme. Experiments show that they do have a tiny mass, but its explanation lies beyond the Standard Model.

(4) The Higgs particle is a boson because it has spin 0.

(5) James Watson, *The Double Helix* (New York: Touchstone, 2001).

(6) This example can be likened to the rule of the road. In some countries people drive on the right; in others they drive on the left. Which one is chosen is just a matter of historical accident. It doesn't make any difference so long as everybody uses the same rule.

(7) If you did the experiment *very* precisely, the selection of the direction could be traced back to chaotic molecular jiggles.

(8) This example comes from Sidney Coleman.

(9) By "low-temperature" and "low-energy" I mean low compared with the temperature and energy of symmetry-breaking. As we shall see, that may involve GUT or even Planck values. Given these elevated scales, what physicists normally refer to as "high-energy physics" is still very low-energy indeed. So the low-energy world includes the world of subatomic accelerators such as the LHC, as well as everyday experience.

(10) The alert reader may notice that this is about the time when inflation is supposed to have happened—which is no coincidence. It was by considering the application of GUTs to the very early universe that Alan Guth got the idea of the inflationary universe scenario in the first place, and in fact a plausible candidate for the inflaton field is one of the GUT Higgs fields.

(11) Actually, I'm making this up. Nobody knows because the theory is too complicated. But there are lots of options.

(12) Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005), p. 21.

(13) The existence of a landscape is based on a consideration of the five "corners" of M theory representing the five original string theories, which can be studied using an approximation method called perturbation theory. Some theorists believe that the landscape is an artifact of this

approximation and predict that if the full underlying M theory could be properly formulated and solved exactly, it would yield a single, unique description—just one world. I shall have more to say about the alternative view in Chapter 9.

(14) The idea that eternal inflation might provide a natural mechanism to generate large cosmic domains (pocket universes) with very different low-energy physics, and with obvious anthropic consequences, dates from the early 1980s. See A. D. Linde, "The New Inflationary Universe Scenario," in *The Very Early Universe*, edited by G. W. Gibbons, S. W. Hawking, and S. Siklos (New York: Cambridge University Press, 1983), p. 205. For an up-to-date account of this "landscape exploration" process, see Chapter 11 of Susskind's book *The Cosmic Landscape.*

(15) The theories I have described here are by no means the only ideas for a multiverse. A list of various multiverse theories has been compiled by Nick Bostrom in *Anthropic Bias: Observations and Selection Effects* (New York: Routledge, 2002); see also John Leslie, *Universes* (New York: Routledge, 1989).

(16) An excellent in-depth discussion and critique of these issues can be found in Neil Manson (ed.), *God and Design* (New York: Routledge, 2003).

(17) *The Edge* annual question, 2006. See www.edge.org.

(18) This type of reasoning is fully convincing only if one can assign precise statistical weights to different universes, but we don't know how to do that yet. Another assumption is that there is no obvious minimum value of the dark energy below which life would be impossible, unless one considers negative values. A substantial amount of negative dark energy would be life-threatening for a different reason: it would add to the gravitational attraction of the universe and cause rapid collapse to a big crunch.

(19) More details of this work can be found in John Barrow, *The Constants of Nature* (New York: Random House, 2003).

(20) Max Tegmark, "Parallel Universes," *Scientific American* (May 2003), p. 31.

(21) There is also a hidden assumption that the systems being considered have a finite, albeit very large, number of possible states. This is the case for discrete variables, as arise from the application of quantum mechanics, but there is no logical reason why some physical variables should not be continuous. If that were so, there would be infinitely many "shades of gray," and the question of truly identical copies would be more subtle.

(22) Nick Bostrom, "The Simulation Argument: Why the Probability That You Are Living in a Matrix Is Quite High," *Times Higher Education Supplement*, May 16, 2003. For a more scholarly analysis see Bostrom's "Are You Living in a Computer Simulation?" *Philosophical Quarterly*, vol. 53, no. 211 (2003), p. 243.

(23) The assumption that all physical processes can in principle be simulated by a universal computer rests on an unproven but widely believed conjecture called the Church-Turing thesis named after Alan Turing and the American logician Alonzo Church). See, for example, David Deutsch, *The Fabric of Reality* (New York: Viking, 1997), p. 134.

(24) Cited in J. R. Newman, *The World of Mathematics* (New York: Simon & Schuster, 1956).

(25) A collection of essays on this topic can be found in Daniel Dennett and Douglas Hofstadter, *The Mind's I* (Brighton, UK: Harvester, 1981). See also David Chalmers, "The Matrix as Metaphysics," in *Philosophers Explore the Matrix*, edited by Christopher Grau (Oxford, UK: Oxford University Press, 2005).

(26) Alan Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, vol. 59 (1950), p. 433.

(27) A classic being Isaac Asimov's *I, Robot* (New York: Genome Press, 1950).

(28) Roger Penrose, *The Emperor's New Mind* (New York: Oxford University Press, 1989).

(29) Gordon Moore, cofounder of Intel, predicted decades ago that computing power would double about every one or two years. So far he has been proved correct.

(30) See, for example, Frank Tipler, *The Physics of Immortality* (New York: Doubleday, 1994).

(31) Interested readers can learn more by visiting Bostrom's Web site at www.simulation-argument.com.

(32) Martin Rees, *Our Final Century* (New York: Basic Books, 2004).

(33) John Barrow, "Glitch," *New Scientist* (June 7, 2003), p. 44. Reprinted courtesy of New Scientist.

(34) Ibid.

(35) The simulating system need not be an electronic computer. If the assumption of computational universality (see the next paragraph in the main text), on which this entire discussion is based, is correct, then the simulation could be performed using almost any objects, such as beer cans and string, or even something as simple as a classical three-body chaotic system, which is infinitely complex in its behavior. Also, "our" time and time in the simulating system need not be the same. The simulation could be much faster or much slower in its own time than our subjective experience of time within the simulation.

(36) Barrow, "Glitch."

(37) Paul Davies, "A Brief History of the Multiverse," *New York Times*, April 12, 2003.

(38) Martin Rees, "In the Matrix," *Edge* (www.edge.org), September 15, 2003.

الفصل التاسع: التصميم الذكي، والتصميم غير الذكي

(1) Augustine, *City of God*, XI, 4, 2, *in Basic Writings of St. Augustine*, edited by W. T. Oates (New York: Random House, 1948).

(2) Aquinas is famous for his arguments for the existence of God, based on "five ways" of reasoning. The five ways are contained in his *Summa Theologica*, edited by Timothy McDermott (Westminster, MD: Christian Classics, 2000).

(3) William Paley, *Natural Theology* (1802), in *Paley's Natural Theology with Illustrative Notes*, edited by H. Brougham and C. Bell (London, 1836), chapters 1 and 2.

(4) Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* (New York: Norton, 1987).

(5) Henry Drummond, *The Lowell Lectures on the Ascent of Man* (New York: J. Pott & Co., 1894), pp. 427-28.

(6) The term seems to have been coined by C. A. Coulson in *Science and Christian Belief* (London: Fontana, 1958), although Drummond had already captured the basic idea in *The Ascent of Man*.

(7) A useful video demonstrating the details, featuring Dan-Erik Nilsson, has been produced by WGBH Educational Foundation and Clear Blue Sky Productions and can be found at www.pbs.org/wgbh/evolution/library/01/1/1_011_01.htm.

(8) Intelligent Design proponents are (for political reasons) frustratingly vague about the non-Darwinian mechanism whereby physical systems such as the bacterial flagellum acquire their designlike structure. It does not have to be an on-the-spot miracle, like a rabbit pulled out of a

hat, although that is apparently what their supporters prefer. There could be a designlike law of nature that operates over evolutionary timescales. To establish the meaningfulness of such a law, it is first necessary to provide a rigorous mathematical definition of design. A heroic attempt at just that has been made by William Dembski: see his book *No Free Lunch* (Lanham, MD: Rowman & Littlefield, 2001).

(9) A robust case for self-organization in biology is made by Stuart Kauffman in his book *At Home in the Universe* (New York: Oxford University Press, 1995).

(10) Lee Smolin proposed a theory in which black holes create "baby universes" that inherit laws from their "parent universe," with some random variation. In this theory there is a sort of inheritance and variation, but no selection. Details can be found in his book *Life of the Cosmos* (New York: Oxford University Press, 1997).

(11) Christoph Schönborn, "Finding Design in Nature," *New York Times*, July 7, 2005.

(12) See, for example, Nelson Pike, *God and Timelessness* (New York: Random House, 1970).

(13) E. W. Harrison, "The Natural Selection of Universes Containing Intelligent Life," *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 36, no. 3 (1995), p. 193.

(14) Remember, the landscape is not a physical place or region, but a space of possibilities—a parameter space. The superbeing or supercivilization could create a universe physically close by, but a long way away in parameter space. If the universe containing this being or civilization were already optimal for life, we can imagine that it/they would choose to create baby universes at a similar location in the landscape, to make their product universes fit for life.

(15) Olaf Stapledon, *The Star Maker* (London: Methuen, 1937).

(16) Fred Hoyle, *The Intelligent Universe* (London: Michael Joseph, 1983), p. 249.

(17) Andrei Linde, "Stochastic Approach to Tunneling and Baby Universe Formation," *Nuclear Physics*, vol. B372 (1992), p. 421.

(18) Heinz Pagels, *The Dreams of Reason* (New York: Bantam, 1989), p. 156.

(19) James Gardner, *Biocosm* (Maui, HI: Inner Ocean Publishing, 2003), p. 178.

(20) A clear discussion is given by Richard Swinburne, *The Coherence of Theism* (New York: Clarendon Press, 1977), part III.

(21) That is, can a being that *exists* necessarily, is *good* necessarily, is *omnipotent* necessarily, and so on, also *not* create necessarily? Can a necessary being choose to not create?

(22) Isaac Newton, who wrote more about theology than physics, used this argument. He reasoned that space and time at least are necessary because they emanate directly from God's necessary being. This may have been a factor in Newton's view that space and time are absolute, universal, and unchangeable. Of course, we now know that this is wrong.

(23) A good place to start is Keith Ward, *God: A Guide for the Perplexed* (Oxford: Oneworld Publications, 2005).

(24) The unique, no-free-parameters theory is indifferent about whether there is only one representation of the universe or many. If there are many, they will be in identical quantum states—the postulated unique vacuum state of the theory. Because of the inherent uncertainty of quantum mechanics, this does not require the universes to be precise clones. So even the supposedly "unique" universe theory is consistent with a limited form of multiverse.

(25) The original idea for this analogy came from Carl Sagan, who described it in his novel *Contact* (New York: Simon & Schuster, 1985). It

has been used in its present context by Rodney Holder in his book *God, the Multiverse, and Everything* (Burlington, VT: Ashgate, 2004).

(26) There is also a technical explanation, in terms of the foundations of mathematics and logic, of why a unique final theory is impossible. This has to do with what is known as Gödel's incompleteness theorem. For a recent discussion of this theorem, see, for example, Gregory Chaitin, *Meta Math! The Quest for Omega* (New York: Pantheon Books, 2005). It was partly in consideration of Gödel's theorem that Stephen Hawking, in a much publicized U-turn, recently repudiated the existence of a unique theory of everything.

(27) Stephen Hawking, *A Brief History of Time* (New York: Bantam, 1988), p. 174.

(28) Leibniz, who was a theist, considered this problem and famously concluded that ours is the *best* of all possible worlds (for why would an all-good, perfect God create something less than best?). Leibniz's definition of best refers not to maximum happiness for humans, but more abstractly to mathematical optimization: simplicity consistent with richness and diversity.

(29) Anything that is logically self-consistent, I mean. A round square, for example, could not exist anywhere.

(30) Tegmark was certainly not the first to suggest that all possible universes really exist. The idea was embraced, for example, by the Princeton philosopher David Lewis.

(31) Max Tegmark, "Parallel Universes," *Scientific American* (May 2003), p. 31.

(32) Ibid.

(33) Benoît B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature* (New York: Freeman, 1982).

(34) Tegmark calls it the "ultimate ensemble theory."

(35) See, for example, Chaitin, *Meta Math!*, p. 97.

(36) The set of all sets that do not contain themselves is not in fact a set, according to the logical niceties of set theory.

(37) Unless, that is, it can be demonstrated that there is a necessary being that is necessarily unique.

(38) For example, one axiom states that any two points in space can be connected by a straight line.

(39) This is perhaps a simplification. One may have evidential reasons for believing in a particular starting point. For example, support for a multiverse might come from evidence of variations of the "constants" of nature. Support for God might come from religious experience or moral arguments.

(40) Sometimes as "the only one," but I have already pointed out the dubiousness of that claim.

(41) Martin Gardner, *Are Universes Thicker Than Blackberries?* (New York: Norton, 2003), p. 3.

(42) Richard Swinburne, *The Existence of God* (New York: Oxford University Press, 1979), chapter 5.

(43) Richard Dawkins, "The Improbability of God," *Free Inquiry Magazine*, vol. 18, no. 3 (1998), p. 6.

(44) Not the Tegmark multiverse: *that* is simple (well, maybe ...).

الفصل العاشر: كيف أتى الوجود؟

(1) Quoted by David Deutsch in *The Fabric of Reality* (New York: Viking, 1997), pp. 177-78.

(2) Brandon Carter, "Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology," in *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, IAU Symposia No. 63, edited by M. S. Longair

(Dortrecht, Netherlands: Reidel, 1974), p. 291; "The Anthropic Principle and Its Implications for Biological Evolution," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, vol. 310 1983, p. 347.

(3) John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

(4) Freeman Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: Harper & Row, 1979), p. 250.

(5) "Evolution's Driving Force," discussion between Robyn Williams and Simon Conway Morris, ABC Radio National, December 3, 2005: www.abc.net.au/rn/science/ss/stories/s1517968.htm.

(6) Christian de Duve, *Vital Dust: Life as a Cosmic Imperative* (New York: Basic Books, 1995), p. 300.

(7) Stuart Kauffman, *At Home in the Universe* (Oxford, UK: Oxford University Press, 1995).

(8) Deutsch, *The Fabric of Reality*, p. 181.

(9) Ibid., p. 134. This statement is closely related to the Church-Turing thesis, the claim that defines the basis for the concept of a universal, or general-purpose, computer. Deutsch proposes elevating this thesis to the status of a fundamental principle of the universe.

(10) Another example of an inconspicuous yet fundamental property of quantum systems is entanglement, whereby two or more particles remain subtly linked even though widely separated.

(11) There is increasing evidence that some "junk" DNA, although not part of the genetic coding system, may nevertheless play a role in the operation of the cell.

(12) The crucial and basic distinction between the "easy" and "hard" problems of consciousness was first stressed by David Chalmers in a famous essay, "Facing Up to the Problem of Consciousness," *Journal of Consciousness Studies*, vol. 2 (1995), p. 200. Most, but not all, philosophers have since accepted this distinction as valid.

(13) Daniel Dennett, *Consciousness Explained* (Boston: Little, Brown, 1991).

(14) See, for example, David Chalmers, *The Conscious Mind: The Search for a Fundamental Theory* (New York: Oxford University Press, 1997).

(15) Just as Schrödinger's cat is seemingly in a state of "suspended animation" in the absence of an observation, so the quantum universe as a whole remains suspended in a superposition of vastly many "histories." Readers who want to know more about the disappearance of time in quantum cosmology can find a detailed discussion in *The End of Time* by Julian Barbour (New York: Oxford University Press, 2001).

(16) Andrei Linde, "Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle," in *Science and Ultimate Reality*, edited by John Barrow, Paul Davies, and Charles Harper (New York: Cambridge University Press, 2004), p. 426.

(17) Quoted by Tim Folger, "Does the Universe Exist If We're Not Looking?" *Discover Magazine*, vol. 23, no. 6 (June 2002), p. 43.

(18) Some suggestions for how this may be achieved have been made by Charles Lineweaver and myself: see P.C.W. Davies and Charles H. Lineweaver, "Finding a Second Sample of Life on Earth," *Astrobiology*, vol. 5, no. 2 (April 2005), p. 154.

(19) Physicists often refer to this as a Boltzmann gas, after Ludwig Boltzmann, who studied how gases approach thermodynamic equilibrium.

(20) I'm referring here to the macroscopic state, defined by averaging over many molecules, not to the micro-states in which the motions of individual molecules are specified.

(21) This point is well recognized by scientists, and attempts have been made to provide a more precise definition of the elusive quality

of "organized complexity" that seems to characterize life. One promising definition, introduced by Charles Bennett of IBM, is in terms of the computational labor needed to describe the system. Bennett calls this the "depth" of the system. A related but more physics-based definition of depth was proposed by Seth Lloyd and Heinz Pagels. A popular account of depth can be found in Murray Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar* (New York: Freeman, 1994), pp. 100–105.

(22) See, for example, Stuart Kauffman, *Investigations* (New York: Oxford University Press, 2000); or Eric Chaisson, *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos* (New York: Columbia University Press, 2005).

(23) Even professional biologists are not immune to backsliding on this issue. In a recent article taking them to task, Charles Lineweaver highlights what he calls the "planet of the apes fallacy." See *Astrobiology*, vol. 5, no. 5 (2005), p. 658.

(24) See, for example, Daniel Dennett, *Darwin's Dangerous Idea* (New York: Simon & Schuster, 1996).

(25) An interesting case in point is the Gaia theory of life on Earth, according to which our planet's ecology, geology, and climate form an interconnected dynamic feedback system in which Earth and its biosphere somehow cooperate to perpetuate life, for example, by responding to external changes such as solar variability with compensating climatic changes. In this popular form, the Gaia theory looks decidedly teleological—Earth's biosphere responds to internal and external threats to secure its future—and it has been roundly criticized as such.

(26) Marx and Engels, *Works*, vol. 40 (Moscow, 1929), p. 550.

(27) Murray Gell-Mann, "Nature Conformable to Herself," *Complexity*, vol. 1, no. 4 (1995), p. 1126.

(28) Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar*, p. 212. As an ironical aside, let me point out that if the extended version of the multiverse

theory is considered (the one in which all possible laws are instantiated in a universe somewhere), then included within this multiverse there *must* be universes with teleological laws. One cannot banish teleological laws by fiat and at the same time argue that *all* possible laws are permitted in a universe somewhere. So if one embraces the extended multiverse theory, the question then arises as to whether our universe is one of those that actually *has* teleological laws, or whether it hasn't but is cunningly cooked up to mimic the genuine article. If universes with teleological laws exist, ours would be an excellent candidate. The universe certainly looks as if it possesses teleological features. Well, perhaps it *is* teleological!

(29) Heinz Pagels, *Perfect Symmetry* (New York: Simon & Schuster, 1985), p. 347.

(30) Časlav Bruckner and Anton Zeilinger, "Information and Fundamental Elements of the Structure of Quantum Theory," in *Time, Quantum, and Information*, edited by Lutz Castell and Otfried Ischebeck (Berlin: Springer-Verlag, 2003), p. 323.

(31) John Wheeler, "On Recognizing 'Law Without Law,'" *American journal of Physics*, vol. 51 (1983), p. 398.

(32) This is not just the emergence of low-energy effective laws via symmetry-breaking, as discussed in Chapter 8. Wheeler proposes that *all* laws emerge from chaos after the origin of the universe.

(33) John Wheeler, "Information, Physics, Quantum: The Search for Links," *in Proceedings of the 3rd International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics*, Tokyo, 1989, p. 354.

(34) John Wheeler, "Frontiers of Time," in *Problems in the Foundations of Physics*, edited by G. Toraldo di Francia (Amsterdam: North-Holland, 1979), p. 395.

(35) This is a general statement, but in practice the bits are determined by quantum mechanics, in the form of discrete yes/no answers, such as whether an electron's spin is up or down.

(36) John Wheeler, *At Home in the Universe* (New York: AIP Press, 1994), pp. 295–311. An attempt to build all of physics out of information has been made by B. Roy Frieden in *Physics from Fisher Information* (New York: Cambridge University Press, 1998) For up-to-date comment on "it from bit," see *Science and Ultimate Reality*, edited by John Barrow, Paul Davies, and Charles Harper (New York: Cambridge University Press, 2004), part IV. See also Wheeler, "Information, Physics, Quantum."

(37) Two relevant papers by Rolf Landauer are "Wanted: A Physically Possible Theory of Physics," *IEEE Spectrum*, vol. 4, no. 9 (1967), p. 105; and "Computation and Physics: Wheeler's Meaning Circuit?" *Foundations of Physics*, vol. 16, no. 6 (1986), p. 551.

(38) Gregory Chaitin, *Meta Math! The Quest for Omega* (New York: Pantheon Books, 2005), p. 115.

(39) Seth Lloyd's calculation is described in his paper "Computational Capacity of the Universe," *Physical Review Letters*, vol. 88 (2002), p. 237,901. See also his book *The Computational Universe* (New York: Random House, 2006).

(40) There may, however, be situations involving complex systems in which the limit of 10^{120} does matter. See P.C.W. Davies, "Emergent Biological Principles and the Computational Resources of the Universe," *Complexity*, vol. 10, no. 2 (2004), p. 1.

(41) Paul Benioff, "Towards a Coherent Theory of Physics and Mathematics," *Foundations of Physics*, vol. 32 (2002), p. 989.

(42) Benioff's proposed consistency criterion is that the theory should maximally describe its own validity and sufficient strength.

(43) Benioff, "Towards a Coherent Theory," p. 1005.

(44) I have given a popular account in my book *About Time* (New York: Simon & Schuster, 1996).

(45) F. Hoyle and J. V. Narlikar, *Direct Inter-Particle Theories in Physics and Cosmology* (San Francisco: Freeman, 1974).

(46) M. Gell-Mann and J. B. Hartle, "Time Symmetry and Asymmetry in Quantum Mechanics and Quantum Cosmology," *in Physical Origins of Time Asymmetry*, edited by J. J. Halliwell, J. Pérez-Mercader, and W. H. Zurek (New York: Cambridge University Press, 1994), p. 311.

(47) S. W. Hawking, "The No Boundary Condition and the Arrow of Time," *in Physical Origins of Time Asymmetry*, edited by J. J. Halliwell, J. Pérez-Mercader, and W. H. Zurek (New York: Cambridge University Press, 1994), p. 346; Hawking subsequently retracted the idea.

(48) Light rays can be bent by material obstacles, such as the edges of the slit. Thus photons do not always travel in precisely straight lines.

(49) Quantum mechanics requires that all particles have a wave aspect. The two-slit experiment has, for example, been successfully carried out with electrons.

(50) In a practical laboratory experiment the photon would take only nanoseconds to pass from the slits to the blind, and no human experimenter could make a decision so finely judged as to take place after the photon had traversed the slits but before it reached the blind. But this is a minor quibble. In principle one could make the distance to the image screen as long as one likes.

(51) W. C. Wickes, C. O. Alley, and O. Jakubowicz, "A 'Delayed-Choice' Quantum Mechanics Experiment," in *Quantum Theory and Measurement*, edited by John A. Wheeler and Wojciech H. Zurek (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983), p. 457; see also T. Hellmuth, H. Walther, A. Zajonc,

and W. Schleich, "Delayed-Choice Experiments in Quantum Interference," in *Physical Review A*, vol. 35 (1987), p. 2532.

(52) There are lots of ingenious refinements to this scenario and many actual experiments, including some in which the accomplice can make a record and then erase it. In all cases, no information can be sent back in time by this sort of arrangement.

(53) A rather natural way of considering the delayed-choice experiment comes from the so-called transactional interpretation of quantum mechanics, due to John Cramer of the University of Washington (see *Reviews of Modern Physics,* vol. 58 [1986], p. 647). The essential idea is that a quantum event, such as the scattering of an electron or the decay of an atom, involves processes that go both forward and backward in time at the speed of light. If the transactional interpretation were applied to the universe as a whole, it might yield a self-consistent description. The challenge would then be to demonstrate that this description was unique.

(54) Wheeler, "Information, Physics, Quantum," p. 354.

(55) The concept of a self-explanatory loop is reflected in the ancient mystical symbol of the Ouroboros, represented as a snake eating its own tail.

(56) Wheeler's more precise definition was "a self-referential deductive axiomatic system" (see "Information, Physics, Quantum," p. 357).

(57) Barrow and Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle;* Frank Tipler, *The Physics of Immortality* (New York: Doubleday, 1994).

(58) "The Anthropic Universe," a documentary on the Australian Broadcasting Corporation's Radio National, *The Science Show,* February 18, 2006, produced by Martin Redfern and Pauline Newman. A transcript may be found at www.abc.net.au/rn/science/ss/stories/s1572643.htm.

(59) John Wheeler, "World as a System Self-Synthesized by Quantum Networking," *IBM Journal of Research and Development*, vol. 32, no. 1 (1988), p. 4.

(60) Quoted by Folger, "Does the Universe Exist If We're Not Looking?"

(61) Another way to avoid paradoxes is to adopt the many-universes interpretation of quantum mechanics. See Deutsch, *The Fabric of Reality*, chapter 12.

(62) If this skimpy discussion leaves the reader more confused than before, I can recommend my little book *How to Build a Time Machine* (New York: Viking, 2002) for more details.

(63) Physicists will recognize this cumbersome description as what is technically termed a closed time-like world line.

(64) J. R. Gott III and L.-X. Li, "Can the Universe Create Itself?" *Physical Review D*, vol. 58 (1998), p. 023501.

(65) P. C. W. Davies, "Closed Time as an Explanation of the Black Body Background Radiation," *Nature Physical Science*, vol. 240 (1972), p. 3.

(66) Other scientists have had similar ideas. For example, Fred Hoyle concluded that "the Universe is seen as an inextricably linked loop ... Everything exists at the courtesy of everything else." *The Intelligent Universe* (London: Michael Joseph, 1983), p. 248.

(67) Wheeler arrived at a similar position. He insisted that the results of quantum observations must *mean* something before the universe can be said to be fully actualized. In this "meaning circuit" (depicted in Figure 10-5,), the physical world gives rise to "observership" and "meaning," while observers and meaning loop back and give rise to the physical world See, for example, Wheeler, "World as a System."

(68) Landauer, "Computation and Physics."

(69) S. W. Hawking and T. Herzog, "Populating the Landscape: A Top Down Approach," hep-th/0602091. A popular account is Amanda Gefter, "Mr. Hawking's Flexiverse," *New Scientist* (April 22, 2006), p. 28.

(70) Memes play the same role in human culture that genes play in genetics. They may be, for example, habits, fashions, or belief systems. Memes replicate, spread within the community, and compete.

خاتمة: التفسيرات الجوهرية

(1) Broadcast in 1948 on the *Third Programme* of the BBC. Transcript reprinted in Bertrand Russell, *Why I Am Not a Christian* (New York: Touchstone, 1957), p. 155.

(2) Neil A. Manson, "Introduction," in *God and Design: The Teleological Argument and Modern Science*, edited by Neil Manson (New York: Routledge, 2003), p. 18.

(3) Yes, according to the philosopher John Leslie, who has championed the theory that the universe exists because "it is good" that it does so—an idea that goes back to Plato. The challenge is to convince physicists that "ethical requiredness" has causal potency.

المراجع

بعض الكتب التي تتناول «الصورة الكبرى» عن الحياة والكون وكل شيء

Bill Bryson, *A Short History of Nearly Everything* (New York: Broadway, 2004).

Paul Davies, *The Mind of God* (New York: Simon & Schuster, 1992).

David Deutsch, *The Fabric of Reality* (New York: Viking, 1997).

Timothy Ferris, *The Whole Shebang* (New York: Simon & Schuster, 1997).

James Gardner, *The Selfish Biocosm* (Maui, HI: Inner Ocean Publishing, 2003).

Murray Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar* (New York: Freeman, 1994).

Lawrence Krauss, *Atom: An Odyssey from the Big Bang to Life on Earth ... and Beyond* (New York: Little, Brown, 2001).

Seth Lloyd, *Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos* (New York: Random House, 2005).

Roger Penrose, *The Road to Reality* (New York: Knopf, 2005).

Lee Smolin, *The Life of the Cosmos* (New York: Oxford University Press, 1997).

Trinh Xuan Thuan, *The Secret Melody* (New York: Oxford University Press, 1995).

John Archibald Wheeler and Kenneth Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics* (New York: Norton, 1998, revised edition 2000).

Stephen Wolfram, *A New Kind of Science* (Champaign, IL: Wolfram Media, 2002).

توحيد الفيزياء، والجسيمات دون الذرية، ونظرية الأوتار/النظرية M والتناظر وغيرها من الموضوعات

John Barrow, *Theories of Everything* (New York: Oxford University Press, 1991).

Frank Close, *Lucifer's Legacy* (New York: Oxford University Press, 2000).

Frank Close, Michael Marten, and Christine Sutton, *The Particle Explosion* (New York: Oxford University Press, 1987).

Brian Greene, *The Elegant Universe* (New York: Norton, 1999).

______, *The Fabric of the Cosmos* (New York: Knopf, 2004).

Paul Halpern, *The Great Beyond: Higher Dimensions, Parallel Universes, and the Extraordinary Search for a Theory of Everything* (New York: Wiley, 2004).

Michio Kaku, *Parallel Worlds* (New York: Doubleday, 2004).

Leon M. Lederman and Christopher T. Hill, *Symmetry and the Beautiful Universe* (New York: Prometheus, 2004).

Yuval Ne'eman and Yoram Kirsh, *The Particle Hunters* (New York: Cambridge University Press, 1996).

Lisa Randall, *Warped Passages* (New York: Ecco, 2005).

Michael Riordan, *The Hunting of the Quark* (New York: Simon & Schuster, 1987).

Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory* (New York: Pantheon, 1992).

———, *The Discovery of Subatomic Particles* (New York: Cambridge University Press, 2003).

مقدمة لعلم الكونيات

Fred Adams and Greg Laughlin, *The Five Ages of the Universe* (New York Simon & Schuster, 1999).

John Gribbin, *In Search of the Big Bang* (New York: Penguin, 1998).

Alan Guth, *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1997).

Edward Harrison, *Cosmology: The Science of the Universe,* 2nd edition (New York: Cambridge University Press, 2000).

Janna Levin, *How the Universe Got Its Spots* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002).

Mario Livio, *The Accelerating Universe: Infinite Expansion, the Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos* (New York: Wiley, 2000).

Dennis Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos* (New York: HarperCollins, 1991).

Simon Singh, *Big Bang: The Origin of the Universe* (New York: HarperCollins, 2004).

كتب تتضمن مناقشات لأفكار الكون المتعدد والانتخاب «الإنساني»

Fred Adams, *Our Living Multiverse* (New York: Pi Press, 2004).

John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

Paul Davies, *The Accidental Universe* (New York: Cambridge University Press, 1982).

John Gribbin and Martin Rees, *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and Anthropic Cosmology* (New York: Bantam, 1989).

John Leslie, *Universes* (New York: Routledge, 1989).

Martin Rees, *Before the Beginning: Our Universe and Others* (New York: Perseus Books, 1997).

______, *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe* (New York: Basic Books, 1999).

______, *Our Cosmic Habitat* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2001).

Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005).

Alex Vilenkin, *Many Worlds in One: The Search for Other Universes* (New York: Hill and Wong, 2006).

كتب تتناول علاقة موضوع الكتاب بالدين واللاهوت

Wim Drees, *Beyond the Big Bang: Quantum Cosmology and God* (La Salle, IL: Open Court, 1990).

Rodney Holder, *God, the Multiverse, and Everything* (Aldershot, UK: Ashgate, 2004).

Fred Hoyle, *The Intelligent Universe* (New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1984).

Neil Manson, ed., *God and Design* (New York: Routledge, 2003).

John Polkinghorne, *Science and Providence* (West Conshohocken, PA: Templeton Foundation Press, 2005).

Joel Primack and Nancy Abrams, *The View from the Center of the Universe* (New York: Riverhead, 2006).

Russell Stannard, *Science and the Renewal of Belief* (West Conshohocken, PA: Templeton Foundation Press, 2004).

Victor J. Stenger, *Has Science Found God? The Latest Results in the Search for Purpose in the Universe* (New York: Prometheus, 2003).

Frank Tipler, *The Physics of Immortality* (New York: Doubleday, 1994).